

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## VÍCEÚČELOVÝ ALARM NA KOLO

MULTIPURPOSE BICYCLE ALARM

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Matej Albert

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vladimír Levek

BRNO 2019

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Mikroelektronika**  
Ústav mikroelektroniky

**Student:** Bc. Matej Albert

**ID:** 154670

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2018/19

**NÁZEV TÉMATU:**

## Víceúčelový alarm na kolo

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte systém umožňující záznam trasy pomocí satelitní navigace s možností odesílání navigačních informací prostřednictvím mobilní sítě. Toto zařízení bude navrženo pro provoz na jízdním kole, bude zde především kladen důraz na spotřebu a rozměry. Systém bude dále umožňovat detekci zcizení a dálkového sledování polohy jízdního kola. Navrhněte funkcionality, kterými bude zařízení disponovat, rovněž způsoby jeho ovládání. Systém bude umožňovat komunikaci prostřednictvím webového rozhraní, řízení provozu a zprávu naměřených dat. Nejprve prostudujte danou problematiku a vše popište v části obecné teorie. Dále navrhněte a realizujte vývojový přípravek zařízení dle zadání. Závěrem jej otestujte a dosažené výsledky přehledně uveďte v textové části diplomové práce.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle doporučení vedoucího práce.

**Termín zadání:** 4.2.2019

**Termín odevzdání:** 21.5.2019

**Vedoucí práce:** Ing. Vladimír Levek

**Konzultant:**

**doc. Ing. Lukáš Fucík, Ph.D.**  
*předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## ABSTRAKT

Táto diplomová práca sa venuje návrhu konceptu sledovacieho zariadenia na bicykel v prípade krádeže. Zariadenie je vybavené GNSS modulom pre sledovanie aktuálnej pozície, GSM modulom pre odosielanie údajov o polohe v prípade krádeže a BT modulom pre nastavenie zariadenia. Detekcia krádeže je založená na akcelerometri. Výsledkom je koncept takéhoto zariadenia zameraný na otestovanie a vyladenie celkovej funkčnosti zariadenia.

## KLÚČOVÉ SLOVÁ

GNSS, GPS, GLONASS, GALILEO, bicykel, krádež, ochrana, sledovanie, BT, GSM

## ABSTRACT

This diploma project is about designing a concept of an anti-theft tracking device for a bicycle. The device is equipped with a GNSS module for tracking of current location, GSM module for sending the location data in case of a theft and a BT module for user settings via mobile phone. The bike theft detection is detected by an accelerometer. The final goal of this project is a concept of such a device for evaluation and improvement purposes.

## KEYWORDS

GNSS, GPS, GLONASS, GALILEO, bicycle, theft, anti-theft, tracking, BT, GSM

ALBERT, Matej. *Víceúčelový alarm na kolo*. Brno, 2019, 68 s. Diplomová práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky. Vedúci práce: Ing. Vladimír Levek

## POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu diplomovej práce pánovi Ing. Vladimírovi Levekovi za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci.

Brno .....

.....

podpis autora(-ky)

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře  
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072

**Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)**  
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

# OBSAH

<b>Úvod</b>	<b>9</b>
<b>1 Teoretická časť študentskej práce</b>	<b>10</b>
1.1 Určovanie aktuálnej polohy . . . . .	10
1.1.1 Systém GPS . . . . .	10
1.1.2 Systém GLONASS . . . . .	12
1.1.3 Systém Galileo . . . . .	13
1.1.4 Systém Untethered Dead Reckoning . . . . .	15
1.2 Inerciálne senzory . . . . .	16
1.3 Batériové napájanie . . . . .	18
1.4 Antény . . . . .	19
1.5 Impedančné prispôsobenie . . . . .	20
1.6 Bluetooth protokol . . . . .	21
<b>2 Návrh sledovacieho zariadenia</b>	<b>23</b>
2.1 Popis zariadenia . . . . .	23
2.1.1 Hlavná riadiaca jednotka + BT modul . . . . .	24
2.1.2 GNSS modul . . . . .	25
2.1.3 GSM/GPRS modul . . . . .	26
2.1.4 Detektor pohybu . . . . .	27
2.1.5 Návrh napájania . . . . .	28
2.2 Návrh DPS . . . . .	30
2.2.1 Návrh zapojenia . . . . .	30
2.2.2 Návrh layoutu dosky . . . . .	32
2.3 Návrh softvéru pre dosku . . . . .	35
2.3.1 nRF5 SDK - Vývojové knižnice . . . . .	36
2.3.2 Obsluha akcelerometra ADXL362 . . . . .	36
2.3.3 Obsluha sledovača nabitia MAX17260 . . . . .	37
2.3.4 Obsluha GSM modulu SARA G340 a GPS modulu Zoe M8G . . . . .	38
2.3.5 Hlavná riadiaca jednotka . . . . .	39
<b>3 Realizácia DPS a návrh na zlepšenie zariadenia</b>	<b>43</b>
3.1 Výroba a osadenie dosky . . . . .	43
3.2 Oživenie dosky a test modulov . . . . .	44
3.3 Spotreba zariadenia . . . . .	45
3.4 Návrhy na zlepšenie . . . . .	47
<b>4 Záver</b>	<b>49</b>

<b>Literatúra</b>	<b>50</b>
<b>Zoznam skratiek</b>	<b>53</b>
<b>Zoznam príloh</b>	<b>56</b>
<b>A Obvodové zapojenia DPS</b>	<b>57</b>
A.1 Hlavné blokové zapojenie zariadenia . . . . .	57
A.2 Zapojenie hlavnej riadiacej jednotky . . . . .	58
A.3 Zapojenia napájacej časti zariadenia . . . . .	59
A.4 Zapojenia GNSS modulu . . . . .	60
A.5 Zapojenie GSM modulu . . . . .	61
<b>B Prepojovacie vrstvy DPS</b>	<b>62</b>
B.1 Vrchná vrstva . . . . .	62
B.2 Vrchná vnútorná vrstva . . . . .	63
B.3 Spodná vnútorná vrstva . . . . .	64
B.4 Spodná vrstva . . . . .	65
<b>C Osadzovací list ku DPS</b>	<b>66</b>
<b>D Kúsovník ku DPS</b>	<b>67</b>
<b>E Kúsovník ku DPS</b>	<b>68</b>



# ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1	Prehľad GPS segmentov a ich hlavných funkcií.[2]	12
1.2	Prehľad delenia systému Galileo.	14
1.3	Hlavné typy akcelerometrov; a) piezoelektrický, b) piezorezistívny, c) kapacitný	17
1.4	Fázy nabíjania lítiovej batérie	18
1.5	Pohľad na microstrip na povrchu dosky spolu s definícou parametrov	20
1.6	Znázornenie možných topológií aplikácií s BLE protokolom v rôznych úlohách[19]	21
1.7	Vizualizácia aplikačnej vrstvy BLE protokolu	22
2.1	Základné blokové schéma navrhovaného zariadenia	23
2.2	Porovnanie rodín GNSS modulov od firmy U-Blox	26
2.3	Porovnanie druhov SIM kariet[1]	27
2.4	Príklad použitia nástroja "hierarchický pin" pre vyvedenia signálu von z aktívneho listu	31
2.5	Blokové schéma napájacej časti zariadenia	31
2.6	Blokové schéma zariadenia so zobrazenými hlavnými signálovými prepoismi	32
2.7	Pohľad na 3D vizualizáciu hotovej dosky v programe KiCad	35
2.8	Statový automat hlavnej smyčky zariadenia a obsluha udalostí	40
3.1	Priebeh úbytku napätia na odpore v stave čakania	46
3.2	Priebeh úbytku napätia na odpore v stave uspania	46

# ÚVOD

Z policajných štatistík vyplýva, že len na Slovensku bolo ukradnutých 844 bicyklov[12]. Mať kvalitný zámok je určite základ, avšak každý zámok sa dá otvoriť/prestrihnúť/prerezať. Následné šance na nájdenie nie sú vysoké, vyniesť bicykel do zahraničia prípadne na druhú stranu republiky nie je problém. Čo ak je však váš bicykel vybavený sledovacím zariadením? Keďže som sám vlastníkom bicykla, rozhodol som sa takéto zariadenie skúsiť navrhnuť.

Táto diplomová práca sa venuje návrhu sledovacieho zariadenia na bicykel. Aby zariadenie v prípade krádeže fungovalo, musí byť dobre skryté a vždy pripravené. Podmienkami teda je: minimálna veľkosť pre uschovanie do bicykla, dobrá presnosť sledovania dosiahnutá použitím globálnych navigačných systémov(GNSS), dostatočná výdrž na batériu, možnosť nabíjania, detekcia ukradnutia a odosielanie aktuálnej polohy majiteľovi.

Mnou navrhované riešenie vyzerá nasledovne:

Zariadenie bude uložené v riadidlách bicykla, s anténnymi vývodmi v bočnej krytke riadidiel. Základom bude modul na detekciu polohy(GNSS modul), BT modul a GSM modul. V prípade neaktívnosti bude celé zariadenie okrem BT modulu uspané. Indikáciou ukradnutia bude pohyb bicykla a neaktívne BT spojenie so smartfónom. V takomto prípade sa aktivuje zvyšok zariadenia a užívateľ bude schopný sledovať svoje zariadenie pomocou smartfónu. K tomu bude využitý GNSS modul pre zistenie polohy a GSM modul pre jej odosielanie. Celé zariadenie bude možné nabíjať cez USB port, ktorý sa bude nachádzať pod bočnou krytkou riadidiel.

Keďže je téma práce relatívne rozsiahla, cieľom diplomovej práce ine je zostrojiť finálny produkt, ale iba vývojový prostriedok, návrh. Tento slúži na otestovanie celého konceptu zariadenia, ako aj jednotlivých zvolených komponentov a riešení. Práca opisuje teoretický základ pre vývoj takéhoto zariadenia a praktické procesy a kroky pri samotnom návrhu zariadenia. Na konci sú zhrnuté poznatky z vývoja a odporúčaný postup pre budúci vývoj.

# 1 TEORETICKÁ ČASŤ ŠTUDENTSKEJ PRÁCE

Kapitola pojednáva o teoretickej príprave k realizácii sledovacieho zariadenia. V stručnosti objasní základy družicovej navigácie pomocou najpoužívanejších systémov GPS, GLONASS a Galileo, napájanie z batérie,

## 1.1 Určovanie aktuálnej polohy

Táto podkapitola sa zaoberá vybranými spôsobmi určovania polohy pomocou rôznych technológií. Pokiaľ nie je uvedené inak, zdrojom informácií je kniha GNSS[6]. Jedným z najrozšírenejších spôsobov určovania polohy je použitie diaľkomerných systémov. Tieto systémy sú založené na meraní vzdialeností od družíc na obežnej dráhe Zeme. Zo známych súradníc družíc( $x_i, y_i, z_i$ ) a ich aktuálnych vzdialeností od užívateľa  $\tau_{d_i}$  je možné zistiť polohu užívateľa( $x, y, z$ ) riešením sústavy troch rovníc o troch neznámych<sup>1.1.</sup>[7] Tento systém môže byť aktívneho typu, kedy užívateľ musí posilať odpovede na prijaté dáta z družíc, alebo pasívneho, kedy užívateľ dáta z družíc iba prijíma. Medzi pasívne diaľkomerné systémy patrí napr. GPS, GLONASS, Galileo.

$$\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} = \tau_{d_i} c, \quad i=1,2,3 \quad (1.1)$$

### 1.1.1 Systém GPS

GPS<sup>1</sup> bolo navrhnuté pre lokalizáciu na súši, na mori, vo vzduchu aj vo vesmíre. Pôvodným názvom NAVSTAR GPS<sup>2</sup> bol vyvinutý americkou armádou pre okamžité zistenie pozície a rýchlosti a presnú synchronizáciu času. Vývoj začal v roku 1973. V roku 1978 boli na orbitu vynesené prvé testovacie družice. Testovanie trvalo 11 rokov. V roku 1989 bola na orbitu vynesená prvá plne funkčná družica(dnes už nefunkčná). Od roku 1996 je povolené civilné užívanie GPS, avšak až do roku 2000 bola presnosť asi 10 krát nižšia(odchýlka až do 100m) ako pri vojenskom užívaní z dôvodu pridávania náhodnej chyby na civilné vysielacie kanály.

Nosnými frekvenciami signálu GPS sú  $L1 = 1575,42\text{MHz}$  a  $L2 = 1227,60\text{MHz}$ . [2, na strane 4] Tieto frekvencie môžu byť následne modulované až tromi pseudonáhodnými šumami PRN<sup>3</sup>. Meno PRN majú iba z dôvodu podobnosti k náhodnému šumu a v skutočnosti sú presne dané. Prvý, zvaný C/A code<sup>4</sup>, je určený pre civilné prijímače a je modulovaný iba na frekvenciu L1. Každý satelit má priradený svoj

<sup>1</sup>Global Positioning System – globálny lokalizačný systém.

<sup>2</sup>Navigation system with timing and ranging Global Positioning System.

<sup>3</sup>Pseudorandom noise.

<sup>4</sup>Coarse/acquisition code.

vlastný C/A code, tzv. GOLD code. Jeho dĺžka je 1023bitov a frekvencia 1.023MHz. Z toho vyplýva, že sa opakuje s periódou jednej milisekundy a je jednoduché sa naň zosynchronizovať. Druhý, P-code<sup>5</sup>, je určený pre vojenské použitie a je modulovaný na oboch frekvenciách L1 a L2. Prístup iba vojenským zložkám je docielený následným šifrovaním (tzv. Y-code). Okrem PRN sú na frekvenciu modulované aj dáta o aktuálnom stave, časovej odchýlke a efemeridách (dáta pre výpočet orbity) satelitov.

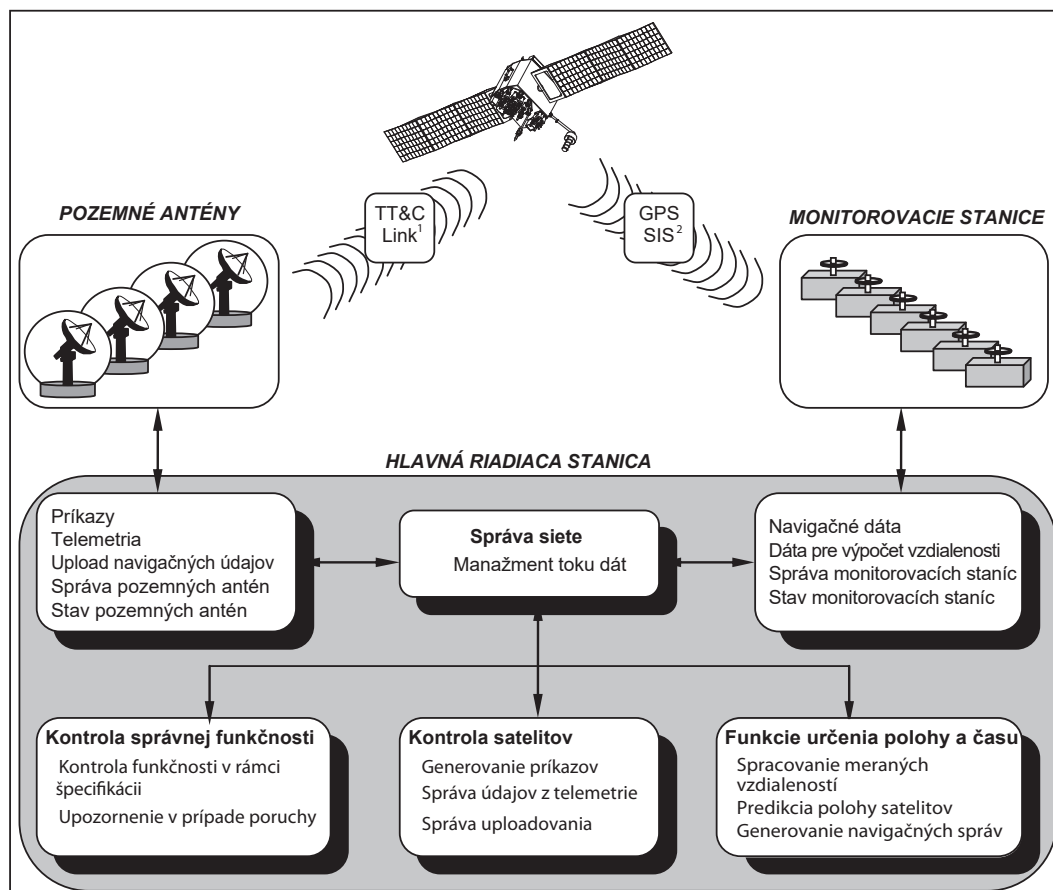
GPS je tvorená troma hlavnými segmentami: kozmický, riadiaci a užívateľský (obrázok 1.1). Kozmický segment tvorí 24-32 družíc obiehajúcich vo výške 20 200km nad Zemou približne dvakrát za 24 hodín. Družice obiehajú po šiestich eliptických dráhach (A–F) so sklonom 55° ku polárnej rovine, 4-6 družíc na dráhu[9]. Existuje niekoľko druhov družíc rozdelených do blokov. Najnovšia patrí do bloku IIF (6. generácia) a najstaršia IIR (na obežnú dráhu bola vynesená 23.7.1997). Aktuálne sa už pracuje na novšej III. generácii. Presnosť času na družiciach je zaistená použitím céziových a rubídiových atómových hodín, ktoré sa udržiavajú v synchronizácii s hlavnou riadiacou stanicou[17].

Riadiaci segment je tvorený hlavnou riadiacou stanicou, 17 monitorovacími stanicami a pozemnými anténami. Hlavná riadiaca stanica (nachádza sa v meste Colorado Springs, štát Colorado) získava dáta o aktuálnych polohách družíc z monitorovacích staníc. Z nich sa počítajú korekcie obežných dráh a aktuálneho času. Tieto dáta sa následne tri krát za deň nahrávajú pomocou pozemných antén naspäť do družíc pre korekciu navigačných dát.

Užívateľským segmentom sa rozumie samotné koncové zariadenie pre príjem GPS signálu, z ktorého sa určuje aktuálna poloha, rýchlosť a čas. Signál z družíc má pri Zemskom povrchu výkon okolo  $10^{-16}W$ . Z tohoto signálu sa najprv odstráni nosný signál a ostanú nám samotné binárne dáta a šum. Šum je možné odstrániť násobením prijatého signálu s lokálnou kópiou PRN kódu v správnej fáze. Pokiaľ sú tieto signály v súhlase, dôjde k zosilneniu maxim a minim signálu. Tým je docielená synchronizácia prijímača s vysielaným signálom. Prijaté dáta obsahujú časový údaj, kedy boli odoslané. Odčítaním času odoslania od lokálneho času prijatia a započítaním fázového posunu dostaneme tzv. pseudorange (pseudo vzdialenosť), ktorá vlastne predstavuje aktuálnu vzdialenosť prijímača od satelitu. Dôvod, prečo hovoríme o pseudo vzdialenosti, je nepresnosť v hodinách prijímača. Túto chybu je prijímač schopný obmedziť porovnávaním pseudo vzdialeností k rôznym družiciam a neustálou synchronizáciou svojho času k času družicovému. Následný výpočet polohy je založený na známych vzdialenostiach k družiciam a ich aktuálnych pozíciách. Zo známych pseudo vzdialeností k družiciam a aktuálneho ionosférického a troposférického modelu (aktuálny stav ionosféry a troposféry vplýva na rýchlosť šírenia

---

<sup>5</sup>Precision code.



<sup>1</sup> TT&C Link(Telemetry, tracking and command link) - Spojenie pre telemetriu, monitoring a kontrolu

<sup>2</sup> GPS SIS (Global Positioning System Signal in Space) - GPS signál

Obr. 1.1: Prehľad GPS segmentov a ich hlavných funkcií.[2]

signálu) je možné vypočítať vzdialenosť k jednotlivým družiciam. Zo známej polohy družíc, ktorá je pravidelne aktualizovaná správami zo satelitov, je prijímač schopný vypočítať svoju polohu.

### 1.1.2 Systém GLONASS

Vývoj systému GLONASS<sup>6</sup> začal v polovici 70. rokov bývalým Sovietskym zväzom. Vznikol podobne ako GPS na vojenské účely pre okamžité zistenie "3D polohy, rýchlosti a času kdekoľvek a v akomkoľvek počasí na Zemi a v blízkom vesmíre pre neobmedzené množstvo vzdušných, lodných a akýchkoľvek iných užívateľov." [13] Testovanie začalo vynesím troch družíc v roku 1982, avšak žiadna z nich nebol funkčná. Prvé 4 družice sa podarilo úspešne spustiť do prevádzky až v roku 1984 a

<sup>6</sup>Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema - Globálny navigačný satelitný systém.

medzi rokmi 1986-1993 bolo spustených ďalších 9 družíc(celkovo na orbitu 12 družíc). Podľa štandardu je potreba 24 družíc, čo sa docielilo v roku 1996. Tento rok sa považuje ako rok kompletného spustenie systému a súčasne bol GLONASS sprístupnený civilným užívateľom. Z dôvodu nedostatku financií sa však množstvo funkčných družíc každý rok znižovalo a v roku 2001 ich už bolo iba 8.

Funkčnosťou je systém GLONASS veľmi podobný systému GPS. Podobne ako GPS, aj GLONASS pracuje na dvoch frekvenciách  $G1 = 1602,00$  MHz a  $G2 = 1246,00$  MHz. C/A code je modulovaný iba na frekvenciu  $G1$ , zatiaľ čo P-code je na  $G1$  aj  $G2$ . V priebehu modernizácie(rok 2004) sa však na frekvenciu  $G2$  začal modulovať aj P-code, podobne ako pri GPS. Vysielané dáta obsahujú informácie o satelitných orbitoch, stavu, korekčné údaje o čase a polohe satelitu a iné.

Kozmický segment je tvorený 24. družicami obiehajúcimi okolo Zeme vo výške 19 100 km s periódou 11 hodín, 15 minút a 44 sekúnd. Lietajú v troch eliptických dráhach po 8 družiciach so sklonom  $64.8^\circ$  ku polárnej rovine. Ich rozdelenie je rovnomerné, to znamená, že pre 99% miest na Zemi bude vždy viditeľných aspoň 5 družíc. [5] Vplyvom neustáleho vývoja vzniklo už 5 rôznych druhov družíc. Zoradené od najstarších sú to GLONASS, GLONASS-M, GLONASS-K, GLONASS-K2 a GLONASS-KM. Najvýznamnejší rozdiel spočíva v ich životnosti. Zatiaľ čo satelity GLONASS majú životnosť 4 roky, GLONASS-KM má udávanú životnosť až 12 rokov. Základom riadiaceho segmentu je hlavná riadiaca stanica. Nachádza sa blízko Moskvy v meste Krasnoznamensk. Jej funkcia je obdobná ako pri GPS. Z tzv. TT&C<sup>7</sup> centier získava informácie o polohe a telemetrii družíc, na základe ktorých počíta korekcie obežných dráh a aktuálneho času pre konkrétnu družicu.

### 1.1.3 Systém Galileo

Potreba európskeho navigačného nevznikla v porovnaní so systémami GPS a GLONASS z vojenských dôvodov, ale z civilných. Už v roku 1994 pochopila Európska Únia dôležitosť družicovej navigácie. Spočiatku sa EÚ snažila o blízku spoluprácu s USA na vývoji a správe novej generácie systému GPS. USA však mala výhrady voči takto blízkej spolupráce, pretože GPS bolo vyvíjané najmä na vojenské a obranné dôvody a zdieľanie detailných informácií s cudzími krajinami sa jej neľúbilo. EÚ taktiež zvažovala kooperáciu na vývoji systému GLONASS, ale nakoniec padlo rozhodnutie vyvinúť vlastný systém, Galileo. Pomenovanie nevzniklo ako skratka, ale vzniklo na počesť známeho talianskeho astronóma Galilea Galilei. V roku 1999 teda Európska komisia navrhla, aby bolo Galileo kompatibilné so systémom GPS, ale súčasne kompletne nezávislé. Náklady na vývoj a údržbu do roku 2020 boli odhadnuté

---

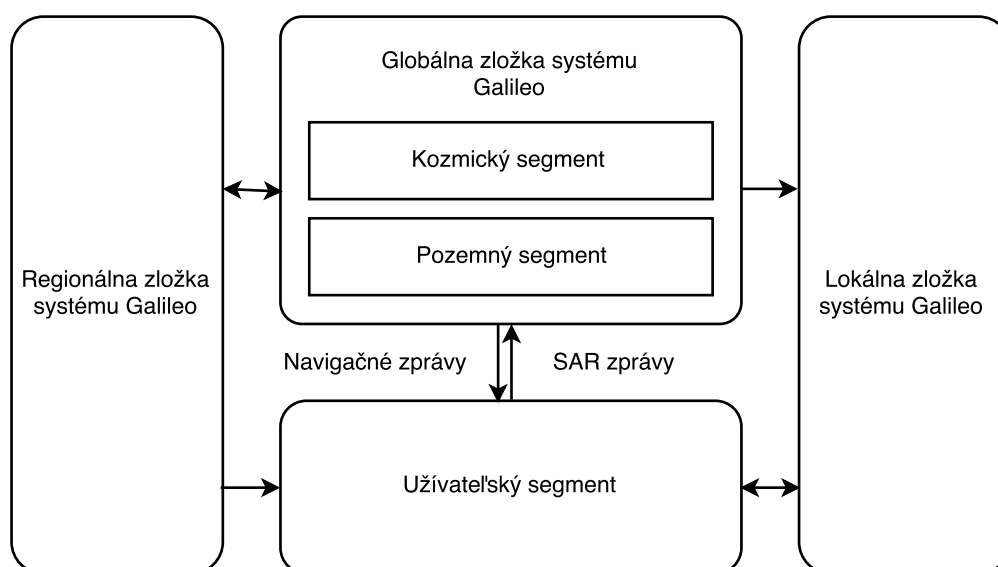
<sup>7</sup>Telemetry, tracking and command - Telemetria, sledovanie a riadenie.

na približne 3,4 miliardy eur.

Celý projekt bol rozdelený do 4 fáz. Fáza návrhu hlavných parametrov a vlastností systému nasledovaná fázou vývoja družíc a prvotného testovania. Tretia fáza bolo vynesenie zvyšných družíc po úplnom otestovaní a štvrtá bola samotná fáza operácie systému. Predpokladaná životnosť je minimálne 20 rokov. Celkové spustenie systému bolo naplánované na rok 2012/2013. Ku dnešnému dňu(máj 2019) je však stále funkčných iba 22 z plánovaných 30 satelitov. Systém je verejne dostupný od 15.12.2016, avšak plná funkčnosť s 30 satelitmi sa posunula až na rok 2021.

Na rozdiel od systémov GPS a GLONASS bude Galileo poskytovať po plnom uvedení do prevádzky štyri rôzne služby(Galileo services):

- Open Service(OS): možnosť určovania polohy a času pre verejnosť bez poplatkov.
- Commercial Service: komplementárna služba k OS poskytujúca väčšiu presnosť pridaním ďalšieho signálu na inej frekvencii. Signál bude šifrovaný a spoplatnený.
- Public Regulated Service (PRS): určený iba pre vládou poverených užívateľov pre špeciálne aplikácie vyžadujúce vyššiu stabilitu a presnosť.
- Search and Rescue Service(SAR): podpora medzinárodného systému Cospas-Sarsat pre detekciu núdzového SAR signálu.



Obr. 1.2: Prehľad delenia systému Galileo.

Čo sa týka segmentov je celkový návrh podobný ako GPS alebo GLONASS, avšak zmienené prídavné služby si vyžadujú iné delenie, a to na zložku globálnu, regionálnu a lokálnu. (obrázok 1.2). Lokálna zložka systému môže byť použitá k

lokálnemu zlepšeniu pokrytia signálom. Typickým príkladom sú miesta a oblasti, kde je príjem signálu z družíc z rôznych dôvodov problematický. Lokálne zložky by mali byť vytvorené, spravované a prevádzkované súkromnými spoločnosťami. Regionálna zložka je tvorená z niekoľkých Externých Regionálnych Integrovaných Systémov(ERIS<sup>8</sup>), ktoré sú vytvorené, spravované a prevádzkované súkromnými spoločnosťami, prípadne štátmi a skupinami štátov mimo EÚ. Úlohou ERIS systémov je zaisťovať hlásenie o integrite systému nezávisle na hláseniach systému Galileo[20]. Hlavnou zložkou je zložka globálna, ktorá začleňuje už známy kozmický segment a pozemný segment.

Kozmický segment systému Galileo počíta celkovo s 30. satelitmi rozdelenými do 3 eliptických dráh. 8 aktívnych satelitov a 2 náhradné (ale taktiež vysielajúce) rovnomerne rozdelené na jednu orbitu. Toto rozloženie poskytuje 100% pokrytie Zeme aspoň 6. satelitmi v akomkoľvek čase. Výška orbity je 23 222 km nad Zemou so sklonom 56° ku polárnej rovine. Perióda obiehania okolo Zeme je 15 hodín, 4 minúty a 45 sekúnd. Vo fázy vývoja a testovania družíc boli na obežnú dráhu vynesené 2 experimentálne družice (rok 2005 a 2008), nasledované vynesením ďalších 4 družíc (po pároch v roku 2011 a 2012), ktoré sú funkčné dodnes [4]. Keďže bolo testovanie úspešné, bolo v roku 2013 ukončené. Aktuálne je na obežnej dráhe 15 družíc.

Pozemný segment sa skladá z dvoch hlavných riadiacich zložiek. Zložka (GCS<sup>9</sup>) sa nachádza v Taliansku a riadi a kontrolu polohu družíc. Zložka GMS<sup>10</sup> sa stará o správne navigačné údaje a nachádza sa v Nemecku. Ďalšími zložkami pozemného segmentu sú dve TT&C stanice, sieť spojovacích staníc pre nahrávanie aktuálnych navigačných údajov a sieť senzorových staníc pre meranie času a aktuálnej dráhy.

#### 1.1.4 Systém Untethered Dead Reckoning

Ako už bolo povedané, sila GNSS signálu na Zemskej úrovni je extrémne nízka a preto náchylná na rušenie. Pri priamej viditeľnosti antény na oblohu je sila dostatočujúca, ale betónová prekážka spôsobí úplný útlm signálu. Používanie navigácie vnútri preto nie je možné. V uliciach mesta s výškovými budovami taktiež dochádza k odrazu signálu. Tento problém sa snažia riešiť technológie zvané ADR<sup>11</sup> a UDR<sup>12</sup>. V prípade technológie ADR pri strate signálu je možné aspoň približne pokračovať v rátaní pozície pomocou dát z automobilových senzorov, ako tachometer, gyroskop,

---

<sup>8</sup>External Region Integrity Systems - Externé Regionálne Integrované Systémy.

<sup>9</sup>Ground Control Segment.

<sup>10</sup>Ground Mission Segment.

<sup>11</sup>Automotive Dead Reckoning.

<sup>12</sup>Untethered Dead Reckoning.



natočenie kolies a akcelerometer. Vplyvom neustálemu zdokonaľovaniu a zmeňovaníu senzorov, riadených hlavne rýchlym vývojom v oblasti mobilných telefónov, je veľkosť a spotreba dnešných gyroskopov a akcelerometrov minimálna. Vďaka tomu vznikla technológia UDR, ktorá funguje rovnako, avšak potrebné dáta nezískava z automobilu, ale z vlastných senzorov.

Pri strate GNSS signálu je teda možné po určitú dobu (závislú od konkrétnych podmienok, rýchlosti, pohybu atď.) predikovať aktuálna polohu vďaka známej poslednej rýchlosti a známym zmenám v pohybe z akcelerometra a gyroskopu. Presnosť predikcie prudko klesá s časom od poslednej známej pozície. Vzhľadom na vysokú pravdepodobnosť krádeže bicykla práve v meste môže byť použitie UDR veľkou výhodou.

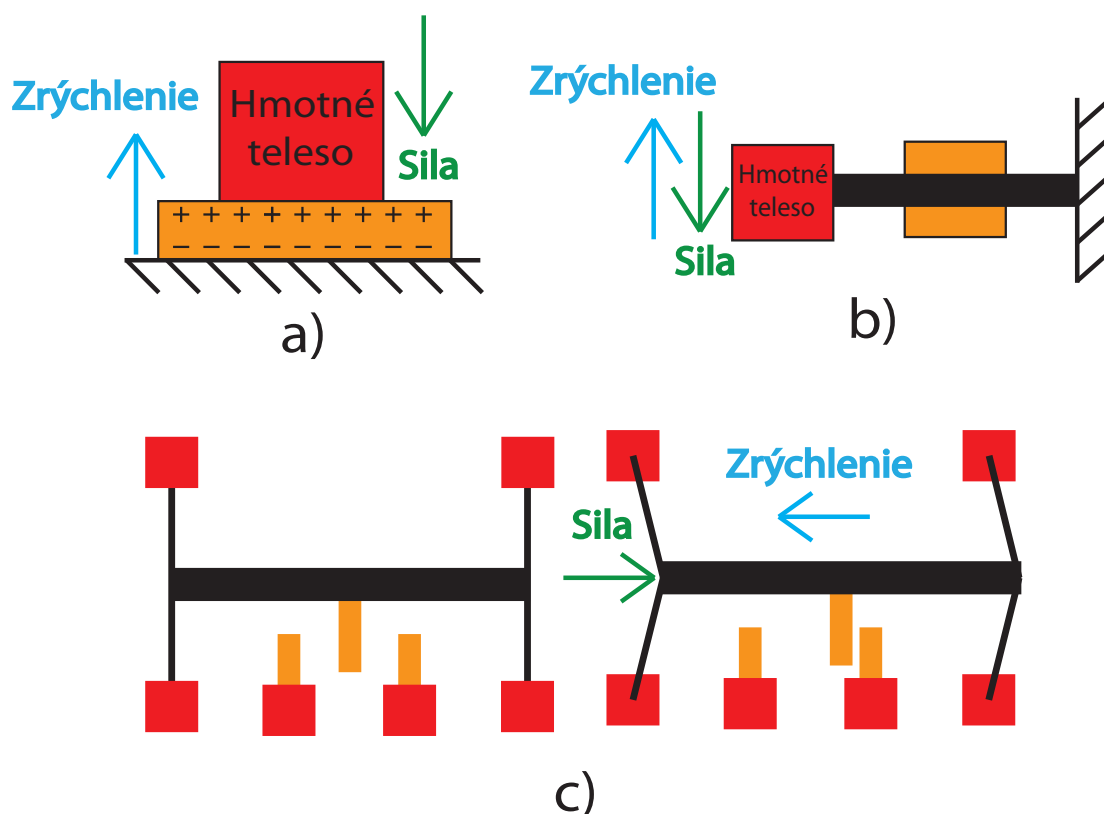
## 1.2 Inerciálne senzory

Pod pojmom inerciálne senzory sa rozumejú senzory pre meranie gravitačnej sily, uhlovej zmeny, prípadne magnetického poľa. Volajú sa akcelerometer, gyroskop a magnetometer. Využívajú sa v leteckve, vo vesmírnej technike, v bez posádkových vozidlách, ale aj v navigácii.

Akcelerometer je zariadenie na meranie zrýchlenia. Dokáže merať ako statické sily (gravitačné zrýchlenie, ktoré pôsobí na senzor vždy silou  $g \approx 9.81m/s^2$ ), tak aj dynamické (pohyb, vibrácia). Aktuálne senzory sú typu MEMS<sup>13</sup>. Meranie je založené na mechanickom princípe, ktoré sa prevedie na elektrickú veličinu. Medzi najpoužívanjšie patria tri hlavné možnosti detekcie mechanických zmien a premenu na elektrické veličinu. Piezoelektrický jav, piezorezistívny jav a meranie zmeny kapacity. Piezoelektrické akcelerometre využívajú vlastnosť niektorých materiálov, kedy vplyvom mechanického stresu sa na nich vytvorí elektrický náboj. Piezorezistívne akcelerometre využívajú zmenu vodivosti niektorých materiálov vplyvom mechanického stresu. Kapacitné akcelerometre sú založené na meraní zmien kapacity dvoch platní, kedy vplyvom vonkajšej sily dôjde k zmene kapacity v dôsledku zmeny vzdialenosti medzi platňami.

---

<sup>13</sup>Micro-Electro-Mechanical System - Mikromechanicko-elektrický systém.



Obr. 1.3: Hlavné typy akcelerometrov; a) piezoelektrický, b) piezorezistívny, c) kapacitný

Gyroskop je zariadenie k udržaniu alebo meraniu uhlovej orientácie a rýchlosti. MEMS gyroskopy sú založené na princípe Foucaultovho kyvadla. Pomenovanie dostalo po francúzskom fyzikovi Léonovi Foucaltovi, ktorý toto kyvadlo použil k dokázaniu rotácie Zeme. Dôkaz vychádza zo zmeny roviny kyvu vplyvom Coriolisovej sily. Je veľa druhov MEMS gyroskopov, ale najčastejšie je k detekcii rotácie využívaná vibrujúca štruktúra rôzneho typu. Táto štruktúra totiž nemení rovinu vibrácie napriek rotácii svojej vzťažnej sústavy. Coriolisova sila však pôsobí na operné body vibrujúcej štruktúry. Meraním tejto sily je potom možné zistiť úroveň rotácie.

## 1.3 Batériové napájanie

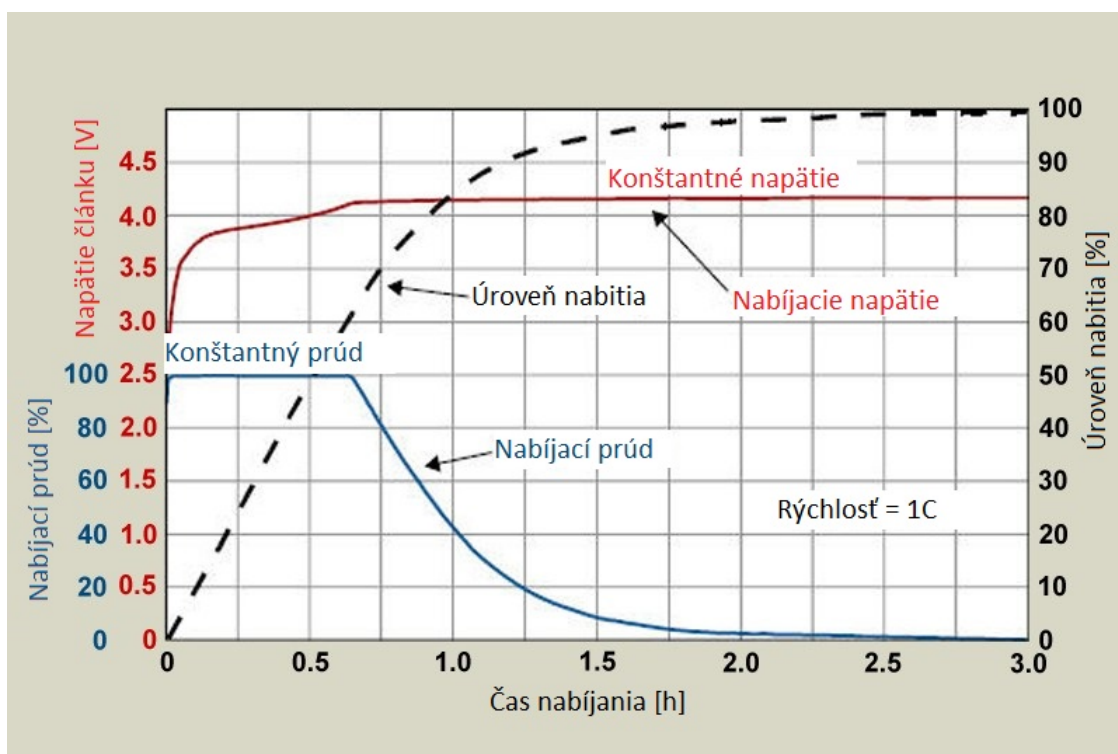
Výber batérie je podmienený najmä minimálnou fyzickou veľkosťou a maximálnou kapacitou. Vyžaduje sa teda batéria s veľkou hustotou energie. Najlepšiu hustotu energie aktuálne dosahujú lithium-iontové batérie. Li-Ion batérie dnes patria medzi najpoužívanejšie. Ich uplatnenie je od malých prenosných zariadení až po elektromobily. Medzi hlavné výhody a nevýhody patrí[10]:

### 1. Výhody:

- Vysoká hustota energie.
- Nízka úroveň samo-vybíjania.
- Vyššia životnosť v porovnaní s ostatnými batériami (okrem NiCd).
- Bez pamäťového efektu.
- Veľká variabilita tvaru a veľkosti.

### 2. Nevýhody:

- Relatívne vysoká cena.
- Riziko prebitia alebo podbitia batérie bez ochranného obvodu.
- Možnosť explózie pri fyzickom poškodení batérie.



Obr. 1.4: Fázy nabíjania lítiovej batérie

Nabíjanie Li-Ion sa delí na 3 fázy. Prvá fáza nazvaná “pre-conditioning” sa pou-

žíva iba keď je batéria podbitá k oživeniu lítiových článkov. V tejto fáze sa používa slabší nabíjací prúd a kontroluje sa, či v požadovanom čase došlo k navýšeniu napätia na batérii. Pokiaľ nie, batéria sa považuje za mŕtvu.

Druhá fáza je samotné nabíjanie konštantným nabíjacím prúdom. Súčasne sa neustále sleduje napätie na batérii, až kým sa nedosiahne požadovaná úroveň. Od tejto úrovne nastáva fáza 3, kedy nabíjame konštantným napätím. Napätie sa na baterke už v podstate nemení a nabíjací prúd postupne klesá. Pokiaľ prúd padne pod požadovanú úroveň, batéria sa považuje za nabitú.

## 1.4 Antény

Vzhľadom na nízku silu satelitného signálu pri povrchu Zeme iba okolo  $10^{-16}W$  je správny návrh antény kľúčový. Rozlišujeme dva druhy antén, pasívne a aktívne. Ako ich názov naznačuje, pasívne antény nevyžadujú napájanie a neobsahujú prídavné aktívne prvky. Aktívne antény obsahujú nízkošumový zosilňovač LNA<sup>14</sup>, ktorý znižuje vplyv šumu prijímača na prijatý signál a straty na vodiči za zosilňovačom nemajú vplyv na celkovú úroveň šumu.

Tab. 1.1: Hlavné rozdiely medzi aktívnou a pasívnou anténou[18]

Aktívna anténa		Pasívna anténa	
-	Vyššia spotreba okolo 10 - 60 mW	+	Nulová spotreba
+	Vyššia tolerancia k impedančnému neprispôsobeniu a dĺžke kábla	-	Musí byť pripojená mikropásikom o maximálnej dĺžke 10cm
+	Znižuje šum z prijímača	-	Rušenie naindukované na mikropásik negatívne vplýva na celkovú funkčnosť
+	V prípade použitia filtra odolnejší voči rušeniu	-	Zložitejšie na implementáciu

Pre príjem GNSS signálu je nutná anténa pracujúca s pravotočivou kruhovou polarizáciou. Keďže GPS, GLONASS a GALILEO vysielajú každý na inej frekvencii, anténa bude musieť byť ladená na všetky tieto frekvencie. Okrem antény pre GNSS je potreba taktiež anténu pre GSM modul pracujúcu na frekvencii 900/950/1800/1900 MHz(prípadne len frekvencii pre Európu 900 MHz a 1800 MHz) a BT modul na frekvencii 2.4 GHz. Pri výbere bude dôležitá najmä spotreba a veľkosť, aj keď finálne

<sup>14</sup>Low Noise Amplifier - Nízkošumový zosilňovač.

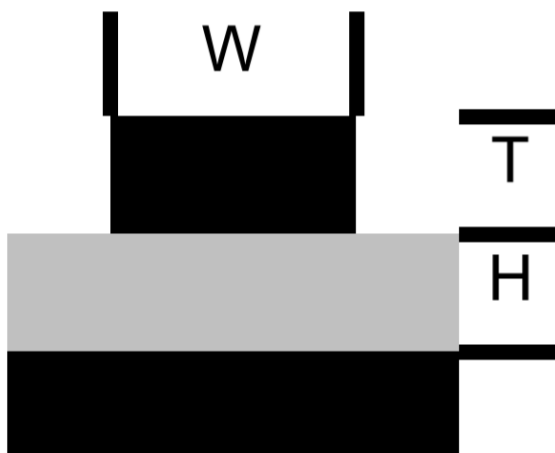
riešenie by si pravdepodobne vyžadovalo anténu vyrobenú na mieru schopnú uloženia do krytky od riadidiel.

## 1.5 Impedančné prispôsobenie

Impedančné prispôsobenie znamená zladenie impedancie výstupného a vstupného signálu, aby nedošlo k útlmu výkonu alebo k odrazom signálu na rozhraniach. Na impedančné prispôsobenie je nutné dbať hlavne pri nízko-amplitúdových vysoko-frekvenčných signáloch, kedy aj malý pokles výkonu môže spôsobiť skreslenie signálu a stratu informácie. Pri návrhu dosky a RF ciest sa prispôsobenie najčastejšie rieši pomocou správneho výberu šírky cesty. Je možné použiť jednoduchú rovnicu 1.2, ktorú je možné uplatniť iba na vonkajšiu cestu (microstrip), teda cestu na vrchnej alebo spodnej strane DPS. Pre výpočet je nutná znalosť relatívnej permitivity  $E_r$  použitého materiálu, z ktorej je DPS vyrobená. Pre materiál FR4 je v závislosti od frekvencie  $E_r \approx 4$ .

Častejšie sa však používa simulačných nástrojov, ktoré používajú detailnejší model pri výpočte. Pri tejto práci bol použitý program PCB Toolkit v7.08 od firmy Saturn PCB Design[15]. Program obsahuje veľké množstvo nástrojov nielen pre výpočet impedancie a je tak užitočným nástrojom každého návrhára DPS.

$$Z_0 = \frac{87}{E_r + 1,41} L_n\left(\frac{5,98H}{0,8W + T}\right) \quad (1.2)$$



Obr. 1.5: Pohľad na microstrip na povrchu dosky spolu s definícou parametrov

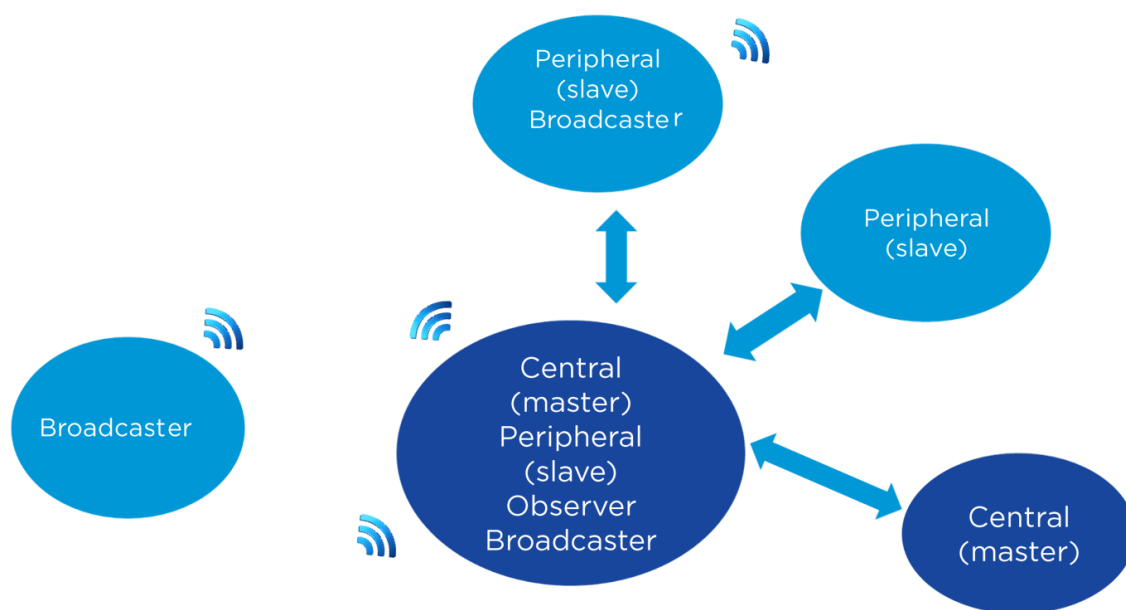
## 1.6 Bluetooth protokol

Bluetooth je komunikačný protokol fyzicky pracujúci na frekvencii 2.4 GHz, rovnako ako napríklad Wi-Fi. BT je však orientované skôr do menších prenosných zariadení, kde je dôraz skôr na spotrebu ako na rýchlosť prenosu dát. S príchodom verzie BT 4.0 bol predstavený BLE<sup>15</sup> protokol určený hlavne pre prenosné zariadenia s hlavným dôrazom na nízku spotrebu.

BLE je oproti BT protokolu väčšinou v stave spánku. K zobudeniu dochádza iba pri samotnej komunikácii, ktorá trvá v jednotkách milisekúnd. Vďaka tomu môžu jednoduché zariadenia s týmto protokolom byť napájané z malej CR2032 batérie aj viac než 1 rok. Pri požiadavke na menšiu rýchlosť ako 2 mbps je možné ju umelo limitovať pre ďalšie zníženie hardvérových nárokov.

BLE protokol má definované 4 rôzne role, v ktorých môže modul vystupovať (môže však podporovať viacero naraz):

- Broadcaster - zariadenie funguje iba ako vysielač.
- Observer - zariadenie funguje iba ako prijímač.
- Peripheral - zariadenie je v režime slave.
- Central - zariadenie je v režime master. Vie komunikovať s viacerými slave zariadeniami naraz.

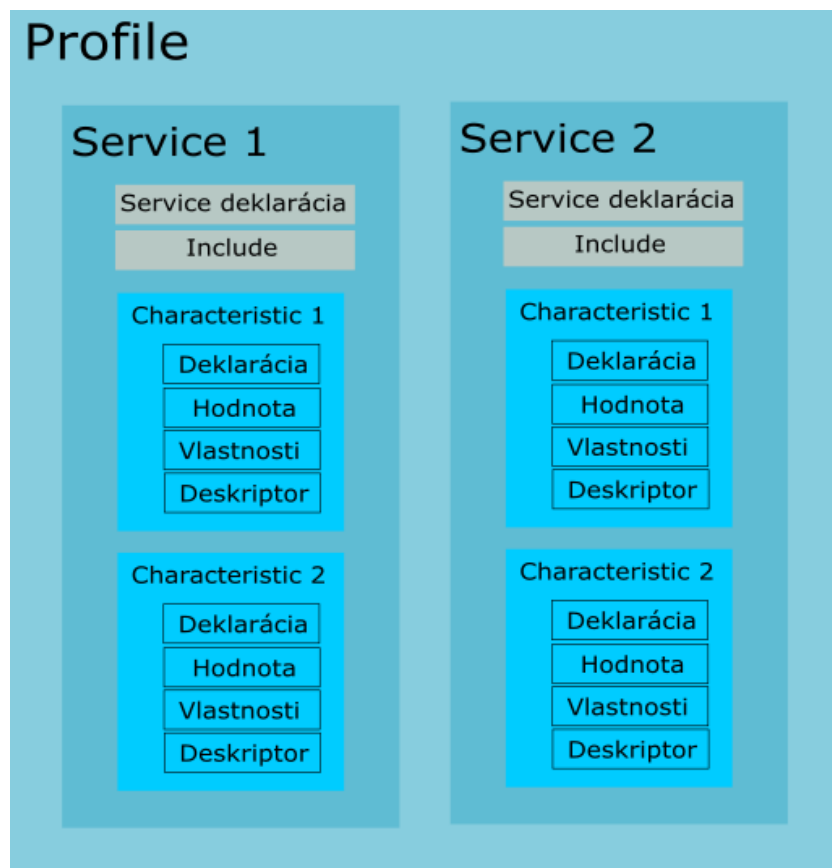


Obr. 1.6: Znázornenie možných topológií aplikácií s BLE protokolom v rôznych úlohách[19]

---

<sup>15</sup>Bluetooth Low Energy.

Topológia jednotlivých rolí je znázornená na obrázku 1.6. Pre požadovanú aplikáciu je vhodné zariadeniu priradiť rolu slave a mobilný telefón bude v roli master. Pri nadväzovaní spojenia najprv slave zariadenia je v tzv. advertising móde, kde v pravidelných intervaloch dáva o sebe vedieť, že existuje. Dĺžka tohoto intervalu je užívateľsky nastaviteľná od 20 ms do 10,24 s po 0,625 ms krokoch. Týmto spôsobom sa master dozvie, že také zariadenie existuje a môže požiadať o spojenie prípadne si iba vyžiadať viac informácií (tzv. Scan Request). Vysielaná správa obsahuje špeciálne UUID číslo pre identifikácie služby, ktorá na zariadení beží. Existujú všeobecné uznávané 16 bitové UUID<sup>16</sup> definované BT SIG skupinou, prípadne si vývojár môže určiť svoje vlastné, 128 bitové UUID. Pri vytvorení spojenia medzi masterom a slaveom prestane slave vysielat advertisement dáta a už komunikuje iba s pripojeným masterom. Zariadenie teda nie je možné už nájsť.



Obr. 1.7: Vizualizácia aplikačnej vrstvy BLE protokolu

Celá aplikačná vrstva BLE protokolu sa dá rozdeliť do nasledujúceho stromu:

- Profile (profil) - definuje celkovú funkciu aplikácie.
- Service (služba) - definuje sub-funkcionalitu aplikácie.
- Characteristic (charakteristika) - vykonáva konkrétnu funkcionlitu služby.

<sup>16</sup>Universally unique identifier - 128 bitová hodnota k unikátnej identifikácii informácii a dát.

## 2 NÁVRH SLEDOVACIEHO ZARIADENIA

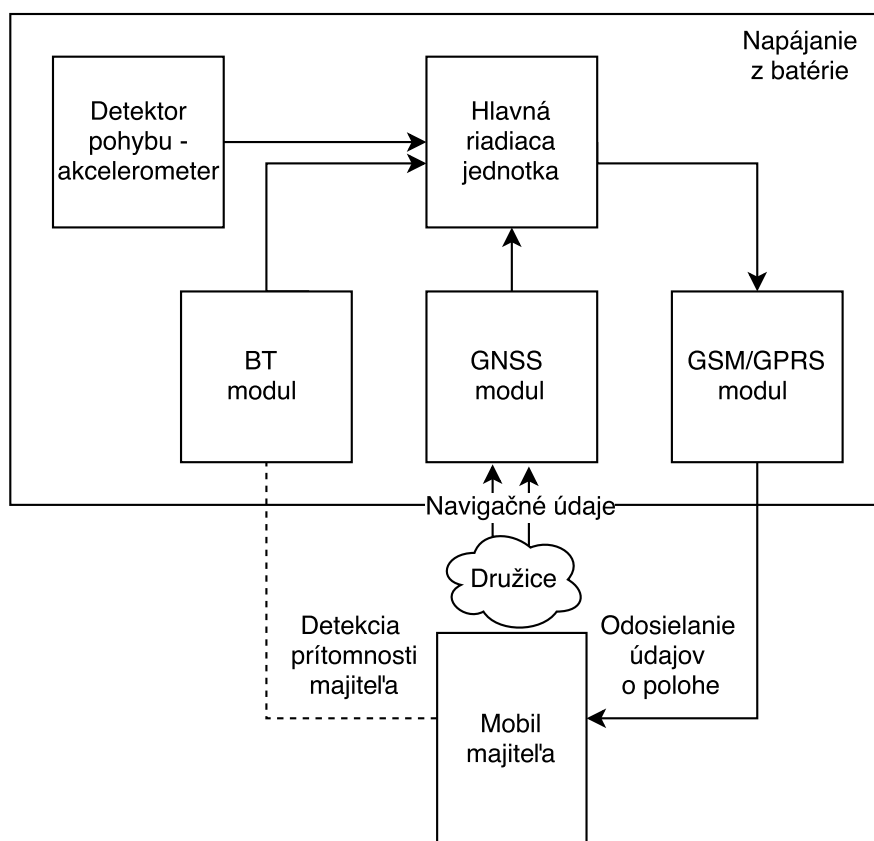
Ako už naznačuje názov, táto kapitola sa venuje hardwarovému ale aj softvérovému návrhu sledovacieho zariadenia. Opisuje základnú požadovanú funkcionálnu zariadenia a použité súčiastky pre realizáciu zariadenia. Taktiež rieši výrobu DPS spolu so softvérovým návrhom.

### 2.1 Popis zariadenia

Hlavnou funkciou zariadenia je možnosť sledovania bicykla v prípade jeho krádeže. Z toho vyplývajú hlavné požiadavky:

- Lokalizácia pomocou družicovej navigácie.
- Schopnosť detekcie krádeže.
- Získavanie lokalizačných údajov zo zariadenia pri krádeži.
- Napájanie z batérie s dostatočnou výdržou.

Navrhované blokové schéma 2.1 zariadenia spĺňa všetky vyššie uvedené požiadavky. Nasleduje popis jednotlivých blokov.



Obr. 2.1: Základné blokové schéma navrhovaného zariadenia



### 2.1.1 Hlavná riadiaca jednotka + BT modul

Ako z názvu vyplýva, funkciou je celkové riadenie a kontrola zariadenia. Má za úlohu spracovávať a vyhodnocovať prijaté dáta z modulov. Počas normálnej funkčnosti zariadenia je v stave čiastočného spánku, kedy k prebudeniu dochádza iba kvôli udržiavaniu BLE spojenia s mobilným telefónom. Súčasne sa neustále sleduje stav akcelerometra, ktorého aktívny prerušovací signál značí, že došlo k pohybu bicykla. V prípade, že pohyb nastal v stave prerušeného spojenia s mobilom, sa predpokladá, že došlo ku krádeži a inicializujú sa jednotlivé moduly GSM a GNSS. GSM modul následne v pravidelných intervaloch odosiela získané údaje o polohe na mobil majiteľa.

Vzhľadom na výpočtovú nenáročnosť požadovaných funkcií je ideálne využiť mikrokontrolér niektorého z ostatných modulov. Zníži sa tým celková spotreba, cena aj náročnosť na návrh a veľkosť zariadenia. Použitý modul by mal mať čo najmenšiu spotrebu. To sa dosiahne použitím protokolu BLE. Súčasne by ho malo byť možné programovať pre využitie ako hlavnú riadiacu jednotku. Modulov spĺňajúcich dané požiadavky je na trhu viac, ale nakoniec bol vybratý modul z rady nRF52 od firmy Nordic Semiconductor. Táto rodina modulov je už na trhu niekoľko rokov a je veľmi obľúbená. Existuje teda veľké množstvo aplikácií, z ktorých je možné sa inšpirovať. Samotná firma má taktiež kvalitne spravené SDK<sup>1</sup>, ktoré zjednoduší tvorbu aplikácie.

Tab. 2.1: Porovnanie BLE modulov z rodiny nRF52[3]

	<b>NRF52840</b>	<b>NRF52832</b>	<b>NRF52810</b>
<b>Procesor</b>	Cortex - M4, 64 MHz	Cortex - M4, 64 MHz	Cortex - M4, 64 MHz
<b>RAM pamäť</b>	256 kB	64 kB	24 kB
<b>FPU a DSP</b>	Áno	Áno	Nie
<b>Flash pamäť</b>	1 MB	512 kB	192 kB
<b>NFC</b>	Áno	Áno	Nie
<b>RX prúdová spotreba</b>	5,4 mA @ 3 V DC-DC	5,4 mA @ 3 V DC-DC	4,6 mA @ 3 V DC-DC
<b>Prúdová spotreba pri spaní (RAM + periférie žijú)</b>	3,16 µA	1,6 µA	1,5 µA
<b>Komunikačné rozhrania</b>	1x USB 2.0 2x I2C master/slave 4x SPI master/slave 1x QSPI 2x UART 1x I2S 1x PDM 1x QDEC	2x I2C master/slave 3x SPI master/slave 1x UART 1x I2S 1x PDM 1x QDEC	1 x I2C master/slave 1 x SPI master/slave 1 x UART 1 x QDEC
<b>Napájanie</b>	1,7 - 5,5 V	1,7 - 3,6 V	1,7 - 3,6 V

V tabuľke 2.1 sú zhrnuté základné rozdiely medzi modulmi z tejto rodiny. Modul

<sup>1</sup>Software Development Kit - Súbor nástrojov a knižníc k jednoduchšiemu vývoji aplikácií.

nRF52840 je určený pre náročnejšie aplikácie o väčších rozmeroch a požadujúce podporu viacerých komunikačných liniek. Na opačnej strane ponuky sa nachádza modul nRF52810, ktorý by so svojou malou pamäťou mohol byť nedostatočný pre obsluhu ostatných modulov. Z tohoto dôvodu bol zvolený modul nRF52832, ktorý svojimi parametrami leží niekde medzi. Jeho nižší výkon a množstvo periférií vynahrádza lepšou spotrebou a menšou veľkosťou. Celkovo je možné využiť až 32 GPIO<sup>2</sup> portov na všeobecné potreby aplikácie.

Modul v sebe obsahuje potrebnú filtráciu aj zosilňovač pre anténny vstup a preto je možné použiť obyčajnú pasívnu anténu na frekvenciu 2.4 GHz. Pri navrhovaní je potreba dbať na impedančné prispôsobenie cesty na DPS, aby nedošlo k nechcenému útlmu a odrazu medzi modulom a anténou. Vstup modulu je prispôsobený na tradičnú impedanciu 50  $\Omega$ .

### 2.1.2 GNSS modul








Slúži na určovanie aktuálnej polohy zariadenia v prípade krádeže. Dôležitá je presnosť a rýchlosť určenia polohy, spotreba a veľkosť. Firma U-blox je dlhé roky popredný výrobca GNSS modulov. V prípade použitia GSM modulu od rovnakej firmy je možné ich priame spojenie pre rýchlejšiu detekciu polohy použitím A-GPS. Taktiež je možné komunikovať s GNSS modulom prostredníctvom GSM modulu, kedy GSM moduly obsahuje špeciálne AT príkazy určené pre GNSS modul.

Najnovšia rodina GNSS modulov M9 je stavaná na rôzne použitia. Obrázok 2.2 zobrazuje rozdiely vo veľkosti jednotlivých sub-rodín. Z nich je najmenšia rodina ZOE, ktorá je zameraná na použitie v priestorovo obmedzených aplikáciách s dôrazom na nízku spotrebu, ako napríklad do rôznych smart hodínok, cyklopočítačov a podobne. Modul však neobsahuje technológiu UDR, ktorá bola po dôkladnejšom preskúmaní zamietnutá. Aktuálne moduly s UDR sú totiž stavané hlavne pre automobily a pri použití v nestabilnom prostredí na bicykli (časté náklony bicykla) dochádza k rýchlej degradácii presnosti lokalizácie pri strate satelitného signálu.

Modul ZOE podporuje všetky aktuálne navigačné systémy: GPS, GLONASS, Galileo aj BeiDou. Komunikácia s ním je možná cez DDC<sup>3</sup> protokol priamo s GSM modulom Sara. Ušetrí sa tak čas potrebný na programový vývoj aj hardvérové prostriedky hlavného procesora. Modul je schopný pracovať autonómne a ukladať aktuálnu polohu na externú FLASH pamäť.

<sup>2</sup>General Purpose Input Output - Generický vstupno-výstupný port.

<sup>3</sup>Display Data Channel - I2C kompatibilný komunikačný protokol pre komunikáciu medzi U-Blox GSM a GNSS zariadeniami.

			
<b>ZOE-M8G</b>	<b>EVA series</b>	<b>MAX series</b>	<b>NEO series</b>
GNSS modul	GNSS moduly	GNSS moduly	GNSS moduly
4.5 x 4.5 mm	7.0 x 7.0 mm	9.7 x 10.1 mm	12.2 x 16.0 mm
Púzdro LGA	Púzdro LGA	Púzdro LCC	Púzdro LCC
			
<b>LEA series</b>	<b>CAM-M8 series</b>	<b>SAM-M8Q</b>	
GNSS moduly	GNSS moduly s anténou	GNSS moduly s anténou	
17.0 x 22.4 mm	9.6 x 14.0 mm	15.5 x 15.5 mm	
Púzdro LCC	Púzdro LCC	Púzdro LGA	

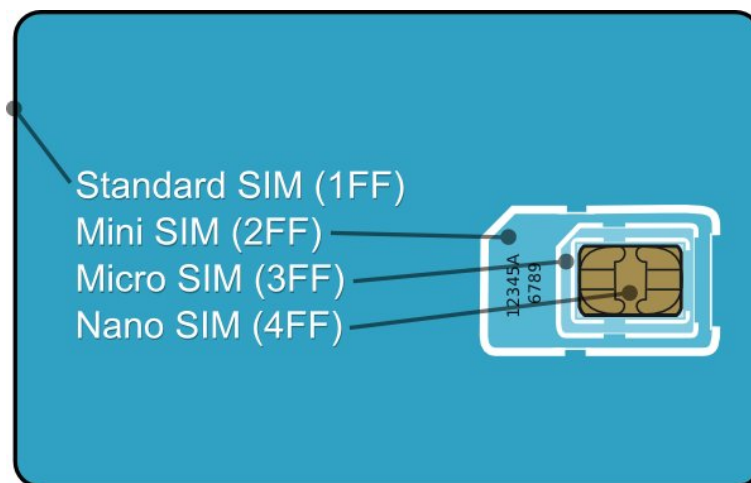
Obr. 2.2: Porovnanie rodín GNSS modulov od firmy U-Blox

### 2.1.3 GSM/GPRS modul

Slúži pre odosielanie údajov o polohe v prípade krádeže. Odosielanie je možné realizovať formou SMS správ alebo cez internet. Zariadenie je určené pre Európsky trh, a preto stačí podpora pásiem 900 MHz a 1800 MHz. Pre jednoduchšiu podporu A-GPS bol zvolený modul od firmy U-Blox, SARA-G340. Komunikácia s modulom prebieha cez UART protokol. Pre spojenie je možné využiť iba RX a TX signály, ale v prípade potreby modul podporuje kompletný protokol RS232, ktorý celkovo pozostáva z týchto signálov:

- RX (Received Data) - Nositeľ dát z DTE strany na DCE DCE, DTE<sup>4</sup>.
- TX (Transmitted Data) - Nositeľ dát z DCE strany na DTE.
- CTS (Clear to Send) - DCE je pripravená na prijímanie dát z DTE.
- RTS (Request to Send) - DTE žiada DCE o pripravenie dát na odoslanie.
- DSR (Data Set Ready) DCE pripravená na príjem alebo odoslanie dát.

<sup>4</sup>Data Circuit-terminating Equipment, Data Terminal Equipment - Pojmy pre vzájomne komunikujúce zariadenia užívané v telekomunikačnom prostredí. DCE predstavuje modem a DTE opačnú stranu, väčšinou počítač.



Obr. 2.3: Porovnanie druhov SIM kariet[1]

- RI (Ring Indicator) - DCE detekoval prichádzajúci hovor.
- DCD (Data Carrier Detect) - DCE je pripojená na modemový signál.
- DTE (Data Terminal Ready) - DTE je pripravená na príjem hovoru.

Keďže modul nRF52832 podporuje iba hardvérovú kontrolu dát, použité budú 4 vodiče: RX, TX, CTS, RTS a GND.

Aby sa GSM modul mohol pripojiť na sieť, je nutné k nemu pripojiť SIM<sup>5</sup> kartu. Je to v podstate pamäť, kde je uložený IMSI<sup>6</sup> identifikátor slúžiaca k identifikácii a autentifikácii predplatiteľa k mobilnej sieti. Na kartu je taktiež možné uložiť niekoľko desiatok kontaktov a SMS správ. Aktuálne existujú štyri rôzne veľkosti karty:

- Standard-SIM - Odpovedá veľkosti bankomatovej karty 85,6 mm x 54 mm
- Mini-SIM - 25mm x 15 mm
- Micro-SIM - 15 mm x 12 mm
- Nano-SIM - 12,3mm x 8,8 mm

Z dôvodu úspory miesta bola zvolená najmenšia nano-SIM. Pre obsluhu a komunikáciu je potrebných 5 vodičov. A to RST, CLK, DAT, VCC a GND. Existujú tri rôzne napájacie štandardy (5 V, 3 V a 1,8 V), ktoré si modul Sara vie sám identifikovať a aplikovať to správne napájanie.

## 2.1.4 Detektor pohybu

Ako detektor pohybu bol zvolený akcelerometer ADXL362 od firmy Analog Devices. Napriek vyššej cene okolo 9€ je jeho použitie opodstatnené, pretože dokáže pracovať v špeciálnom úspornom režime detekcie pohybu, kedy priemerný prúdový odber

<sup>5</sup>Subscriber Identity Module - účastnícka identifikačná karta.

<sup>6</sup>International Mobile Subscriber Identity - unikátne číslo pridelené operátorom pre SIM kartu.

dosahuje iba  $0,3 \mu A$  pri napätí 2 V. Citlivosť detekcie je možné programovo nastaviť v absolútnej hodnote, kedy k detekcii dôjde pri prekročení nastavenej fixnej hodnoty zrýchlenia, ale aj relatívne, kedy modul sleduje náhle zmeny o požadovanú hodnotu voči aktuálnej.

## 2.1.5 Návrh napájania

Celé zariadenie bude napájané z nabíjateľnej batérie typu Li-Ion. Nabíjanie takejto batérie si vyžaduje špeciálny napájací a ochranný obvod. Zvolený bol lineárny obvod od firmy Texas Instruments, BQ24012, ktorý oproti spínanému DC - DC meniču spôsobuje menší vysokofrekvenčný šum na napájacej vetve. Obvod obsahuje prepäťovú aj podpäťovú ochranu rovnako ako voliteľnú ochranu proti prehriatiu batérie. Samotné nabíjanie prebieha plne autonómne s ukončením nabíjania pri poklese nabíjacieho prúdu pod danú úroveň.

Je kompatibilný s napájaním z USB portu s voliteľným nabíjacím prúdom 0,5 A alebo 1 A. Prepínanie prúdu je realizované spínaním tranzistora, na ktorého vetve je pripojený odpor. Jeho spínaním dôjde k poklesu odporu na vetve na polovicu a zvýšenie  $I_{OUT2}$  na dvojnásobok podľa rovnice 2.1.

$$I_{OUT} = \frac{K_{SET} \cdot V_{SET}}{R_{SET}}$$

$$I_{OUT1} = \frac{335 \cdot 2,5}{1675} = 0,5 A \quad (2.1)$$

$$I_{OUT2} = \frac{335 \cdot 2,5}{1675/2} = 1 A$$

Pre indikáciu stavu sú prítomné 3 výstupy: STAT1, STAT2 a PGN. Tabuľka 2.2 ukazuje všetky možné stavy signálov a ich vysvetlenie.

Tab. 2.2: Možné stavy nabíjacieho modulu BQ24012 a ich prislúchajúce signálové úrovne

Stav	STAT1	STAT2	PGN
Prebieha nabíjanie	ON	OFF	ON
Nabíjanie dokončené	OFF	ON	ON
Chýbajúca batéria Prehriatie Chyba časovača Spiaci mód	OFF	OFF	ON
VCC odpojené	ON/OFF	ON/OFF	OFF

Pre sledovanie stavu vybitia batérie je na doske osadený modul od firmy Maxim Integrated MAX 17260. Jedná sa o plne autonómny modul určený pre sledovanie kapacity batérie. Je založená na proprietárnom algoritme nazvanom ModelGauge EZ m5. Väčšina konkurenčných produktov vyžaduje laboratórne spravenú charakteristiku batérie, ktorú je nutné následne nahráť do modulu. Pri použití module je však potreba nahráť iba katalógové parametre batérie, a to jej kapacita, napätie článku v nabitom a vybitom stave a terminačný prúd pri nabíjaní na detekciu 100% stavu nabitia. Modul si následne charakteristiku vytvára sám pri používaní. Aby nedošlo ku strate parametrov pri odpojení batérie je nutné ich periodické ukladanie na flash pamäť, odporúča sa vždy pri 64% kapacity batérie. Aktuálny prúdový odber z batérie sa meria cez odpor o hodnote  $R = 0.02 \Omega$ . K modulu je taktiež možné pripojiť teplomer pre lepšiu charakteristiku, ktorá zohľadňuje aj aktuálnu teplotu batérie.

Použité moduly na DPS vyžadujú rôzne napájacie úrovne, ktoré sú zhrnuté v tabuľke 2.3. Napätie batérie kolíše od cca 3,3 V v stave vybitia až po 4,2 V v nabitom stave. Z tohoto dôvodu je nutné použiť napäťové regulátory na udržiavanie stabilného požadovaného napätia. Akcelerometer ADXL362 vyžaduje dve napájacie úrovne. Čo najstabilnejšiu napájaciu úroveň 3,0 V pre analógovú časť čipu, pretože v prípade nestability napätia nie je zaručená presnosť merania zrýchlenia. Použitím individuálneho napájacieho modulu je taktiež odizolovaná hlavná napájacia vetva od šumu spôsobeného čipom. Preto je použitý LDO<sup>7</sup> modul od firmy On Semiconductor, ktorého výstupné napätie je pevne nastavené na požadovanú hodnotu a ku svojej činnosti nepotrebuje okrem filtračných kapacitorov žiadne ďalšie pasívne súčiastky. Modul taktiež obsahuje povolovací EN pin, ktorý je však natvrdo napojený na vysokú logickú úroveň, keďže akcelerometer je potrebné neustále napájať. Svojím maximálnym prúdovým zaťažením 100 mA a nízkym vlastným prúdovým odberom je ideálny na dané použitie.

Pre digitálnu časť je použité napätie 1,8 V z dôvodu zachovania napäťovej kompatibility s riadiacou jednotkou. Toto napätie vytvára LDO regulátor od firmy Texas Instruments TPS82740A schopný dodávať celkovo 200 mA prúdu do dvoch rôznych vetví. Jedna z vetiev je aktívna neustále, druhú je možné spínať v prípade potreby povolovacím EN signálom. Vzhľadom na nízky prúdový odber 1,8 V vetvy je použitie LDO dostačujúce a neovplyvňuje výrazne celkovú spotrebu. Menšia veľkosť a nižší šum bol preto dôvodom výberu oproti spínanému DC-DC meniču.

Najväčšiu spotrebu predstavuje GSM modul SARA G340 pri 2G komunikácii, kedy môžu nastať prúdové špičky až do hodnoty 2 A. Z tohoto dôvodu je modul stavaný na premenlivé napätie od 3,35 V - 4,5 V a teda je ho možné napájať priamo

---

<sup>7</sup>Low Dropout Regulator - Lineárny regulátor napájania.

z batérie. Tým sa ušetrí ďalší napäťový menič, ktorý by z dôvodu vysokej prúdovej požiadavky musel byť typu spínaného DC-DC meniča a svojou plochou a spôsobovaným šumom by nebol najvhodnejší.

Tab. 2.3: Prehľad potrebných napájacích napätí pre moduly

	<b>Sara G340</b>	<b>nRF52832</b>	<b>ADXL362</b>	<b>Zoe M8G</b>
<b>Napätie VCC [V]</b>	3,35 - 4,5	1,7 - 3,6	1,6 - 3,5	1,8
<b>Napätie VSS</b>	-	-	3,0	-

## 2.2 Návrh DPS

Návrh DPS prebiehal v open source softvéri KiCad. Jedná sa o kvalitný a veľmi obľúbený program medzi študentami a hobby návrhármi. Síce nedosahuje funkcionality drahých programov ako Altium Designer alebo Cadence, na jeho vývoju sa však neustále pracuje a funkcie sú rozširované. Použitie sa teda stáva jednoduchšie. Vývoj prebieha v spolupráci s CERNom a aktuálne sa pracuje na verzii 6.0. Najväčšou výhodou programu je jeho otvorenosť, z ktorej vyplýva bezplatné používanie aj pre komerčné účely a možnosť prístupu do zdrojových kódov a pre zdatnejších užívateľov možnosť dopracovania požadovanej funkčnosti. Vďaka tomu existuje mnoho prídavných modulov s užitočnými funkciami. Pokiaľ je modul používaný komunitou, často sa dostane aj do oficiálnej verzie aplikácie.

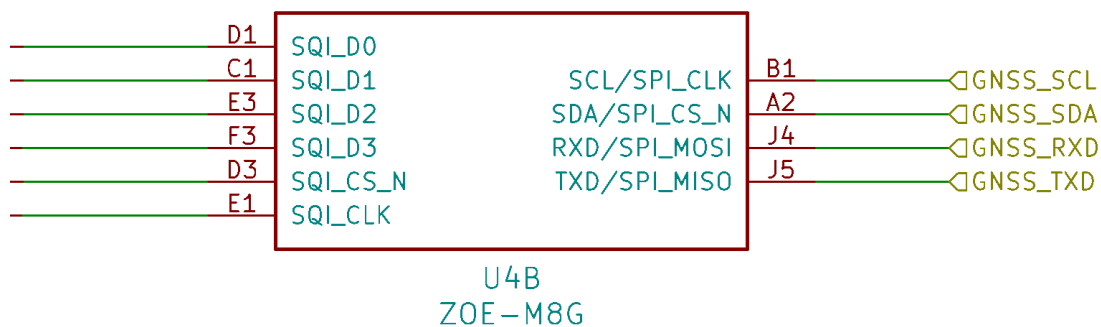
### 2.2.1 Návrh zapojenia

Základ schémy dosky vychádza z blokovej schémy zariadenia uvedenej na obrázku 2.1. Schéma je teda obdobne rozdelená na hlavné bloky:

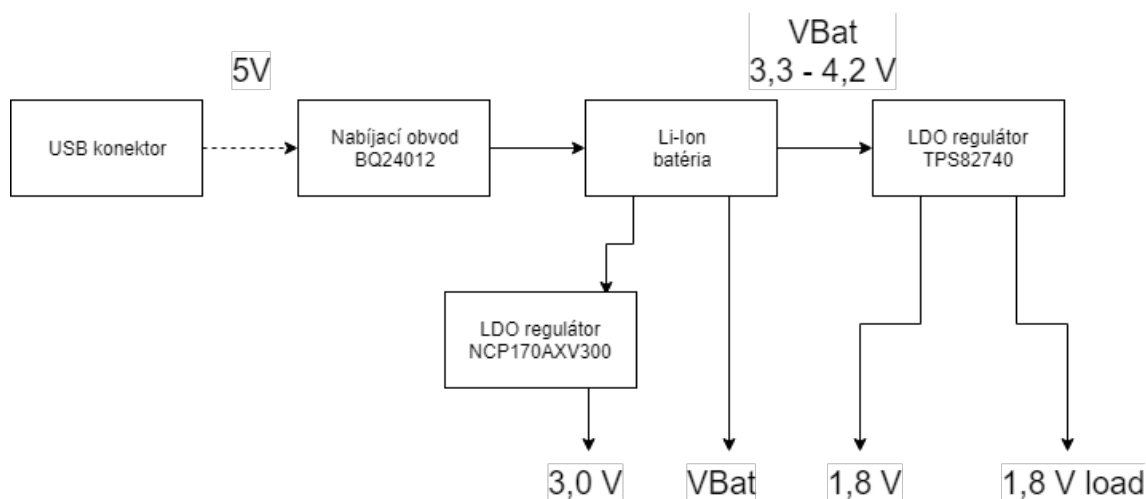
- Power Management - Rieši napájanie celej dosky ako aj jednotlivých súčastí
- GNSS - Rieši zapojenie GNSS modulu ZOE M8G
- GSM - Rieši zapojenie GSM modulu SARA G340

Prvá schéma je vytvorená tak, aby sa dalo hneď a jednoducho zistiť hlavné súčasti a pochopiť funkčnosť zariadenia. Sú na nej zobrazené hlavné moduly spolu so vzájomnými prepojmami. V podstate sa jedná o blokové schéma celého zariadenia. Na obrázku 2.5 je schematicky znázornené napájanie dosky a na obrázku 2.6 detailnejšia schéma funkčných blokov. Rozdelenie hlavných blokov na svoje vlastné listy zlepšuje prehľadnosť celej schémy. Pre vyvedenie signálu zo schematického listu sa používa

nástroj "hierarchický pin" znázornený na obrázku 2.4. Je tak jednoduché rozlíšiť, ktorý signál je interný pre daný list a ktorý nie.

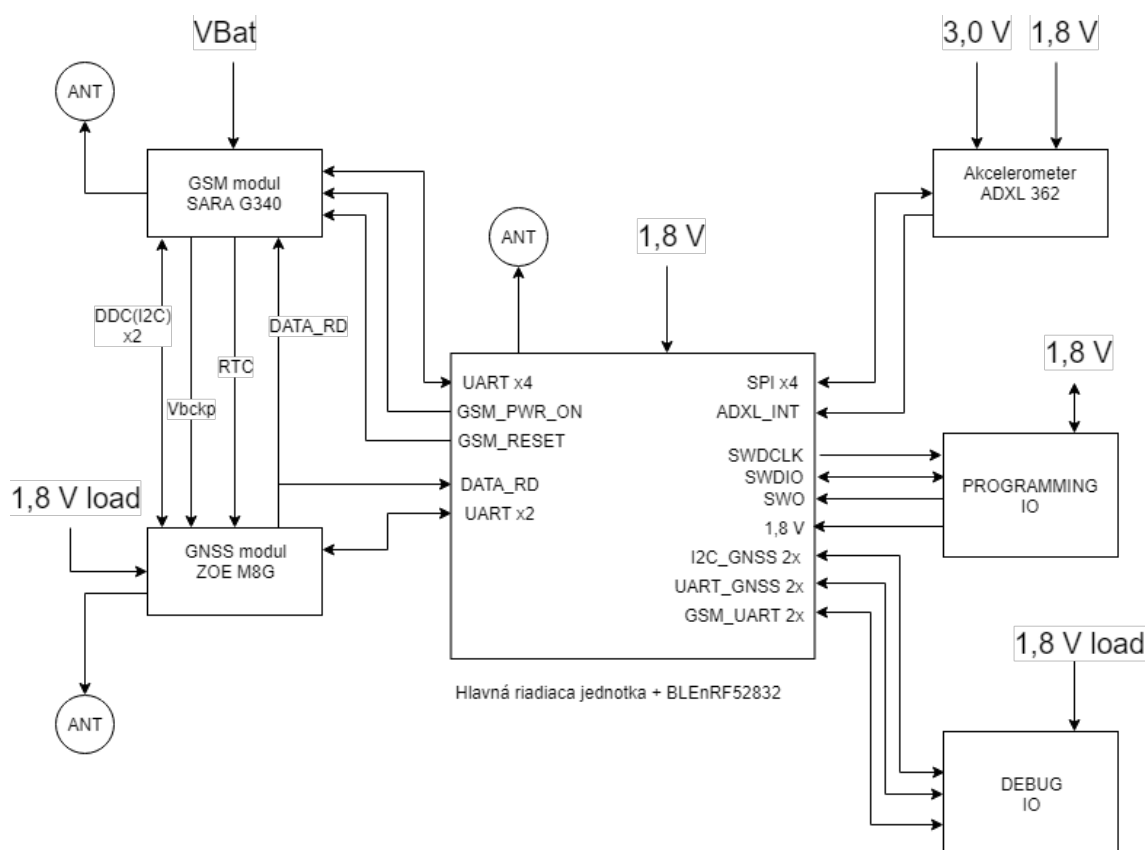


Obr. 2.4: Príklad použitia nástroja "hierarchický pin" pre vyvedenia signálu von z aktívneho listu



Obr. 2.5: Blokové schéma napájacej časti zariadenia





Obr. 2.6: Blokové schéma zariadenia so zobrazenými hlavnými signálovými prepojmami

Počas návrhu bolo nutné pre niektoré súčiastky vytvoriť vlastnú knižnicu pozostávajúcu zo schematickej značky súčiastky a jej footprintu. Niektoré súčiastky je možné nájsť na internete, napríklad na stránke SamacSys Component Search [14]. Stránka slúži ako databáza súčiastok, kde je možné stiahnuť a pridávať užívateľom vytvorené knižnice. Obsahuje jednoduchý nástroj pre kreslenie footprintov, ktorý je prispôbený na rýchle vytváranie štandardných puzdier. Pri použití je však vždy odporúčaná kontrola správnosti, keďže na stránku môže prispievať ktokoľvek bez obmedzenia.

### 2.2.2 Návrh layoutu dosky

Napriek požiadavke na malú veľkosť zariadenia bol layout zariadenia navrhnutý aj na jednoduché testovanie funkčnosti zariadenia. Nebolo teda snahou vytvoriť najmenšiu možnú dosku a následnú nepraktickosť pri testovaní. Doska teda obsahuje testovacie a meracie vývody a hustota osadenia by sa dala taktiež zväčšiť. S väčšou hustotou však stúpa aj cena výslednej realizácie projektu.

Pri návrhu sa počítalo s výrobou dosiek v Číne spoločnosťou Smart Prototyping[11]. Parametre výroby boli teda zvolené podľa dostupných možností, ktoré výrobca ponúka, a ceny. S väčšími nárokmi na presnosť rastie aj cena výslednej realizácie. Pred začatím kreslenia dosky je teda vhodné si nastaviť tzv. ERC<sup>8</sup> pravidlá, ako napríklad minimálna šírka ciest, minimálna vzdialenosť medzi cestami navzájom, medzi cestami a pinmy súčiastok a podobne. Zvolené parametre sú zhrnuté v tabuľke 2.4. KiCad následne pri kreslení neustále kontroluje dodržiavanie týchto pravidiel a nepovolí nič, čo by bolo v rozpore s nimi.

Tab. 2.4: Nastavené ERC pravidlá v súlade s možnosťami výrobcu

Pravidlo	Šírka cesty [mm]	Vzájomná vzdialenosť [mm]	Priemer via/diery [mm]	Vzdialenosť od masky [mm]
Minimálna hodnota	0,15	0,15	0,3 / 0,2	0,05

Základom funkčného a kvalitného návrhu dosky je rozmiestnenie súčiastok. Je teda rozumné si najprv rozmiestniť samotné súčiastky v rámci jednotlivých blokov, keďže najviac prepojení nastáva práve v rámci daného bloku. Súčasne je dobré orientovať piny súčiastok, ktoré budú prepojené s inými blokmi, k sebe, aby bolo možné ich jednoduché prepojenie.

Z dôvodu požiadavky na nízky elektromagnetický šum bola zvolená štvorvrstvová doska. Spodná strana je využitá iba na routovanie. Vrchná na routovanie a osadenie všetkých súčiastok. Vnútorne dve vrstvy sú využité na napájanie, konkrétne vnútorná vrstva hneď pod vrchnou je pripojená na zem, druhá na napätie 1,8 V. Týmto riešením sa okrem čiastočnej eliminácie elektromagnetického žiarenia zjednoduší aj celkové routovanie dosky.

Najkritickejším miestom dosky bolo správne navrhnutie vysokofrekvenčných signálov k anténam. Prítomné sú tri rôzne antény: 2400 MHz anténa k BT modulu, 900 MHz a 1800 MHz anténa ku GSM modulu a cca 1600 MHz anténa ku GNSS modulu. Výpočet bol pre porovnanie urobený pomocou rovnice 1.2 ako aj nástrojom PCB Toolkit. Pri výpočte sa vychádzalo z relatívnej hodnoty uvedenej v materiálovom liste dosky uvedenej na stránke výrobcu [8]. V grafe závislosti  $E_r$  od  $f$  je však hodnota frekvencie vynesená iba do hodnoty  $f = 100 \text{ MHz}$ . Aproximáciou tejto funkcie logaritmickou rovnicou  $y = -0,045 \ln(x) + 4,5808$  je pre frekvenciu  $f_1 = 900 \text{ MHz}$ ;  $f_2 = 1800 \text{ MHz}$ ;  $f_3 = 2400 \text{ MHz}$  permitivita  $E_{r1} = 4,27$ ;  $E_{r2} = 4,24$ ;  $E_{r3} = 4,23$  respektíve. Porovnanie je uvedené v tabuľke 2.5. Vzhľadom na lepši

<sup>8</sup>Electrical rule checking - Kontrola elektrických pravidiel.

model použitý v aplikácii PCB Toolkit bola ako výsledná šírka cesty zvolená práve  $W = 0.208\text{mm}$ . Rozdiel v šírke medzi jednotlivými frekvenciami je zanedbateľný.

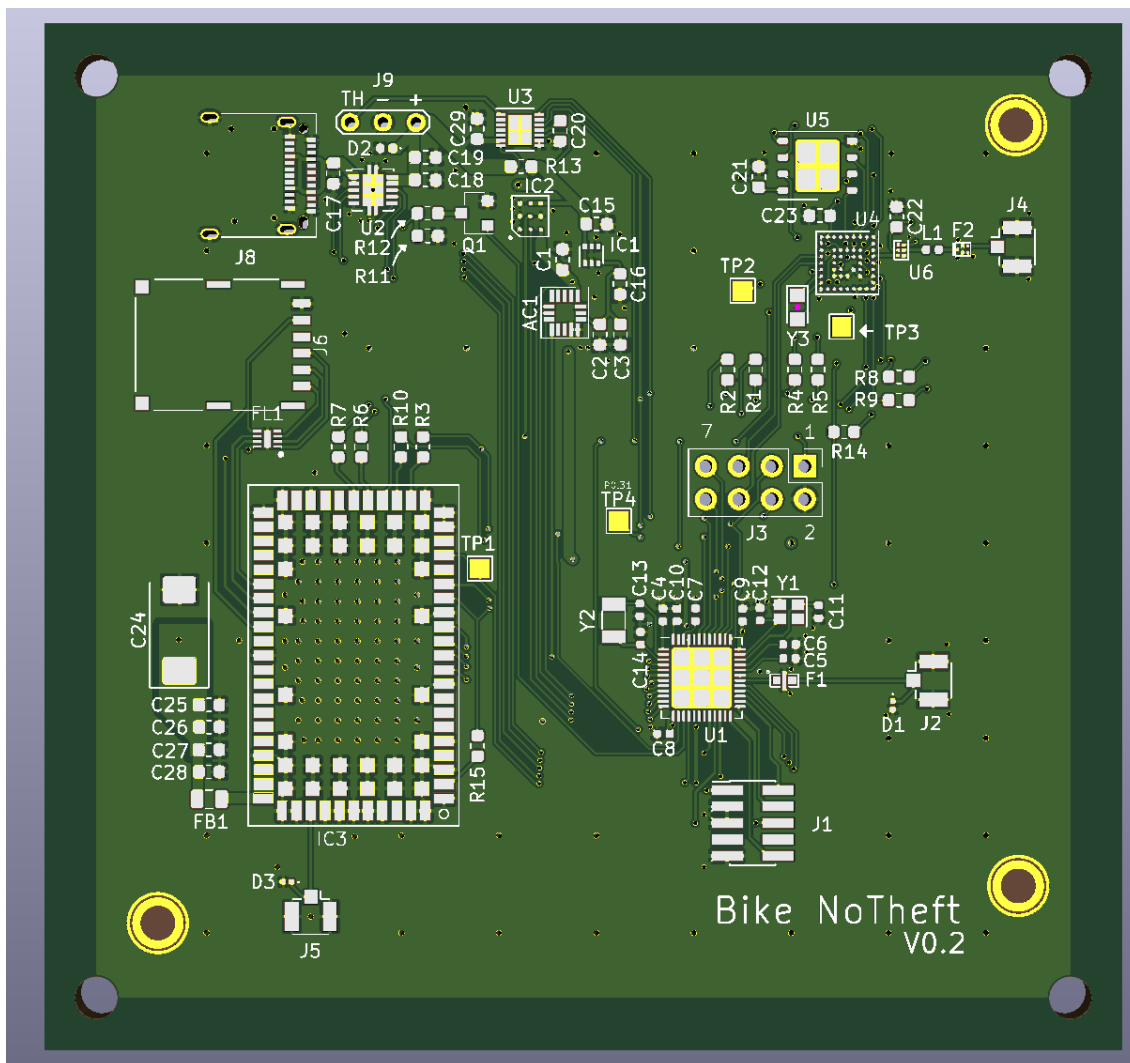
$$\begin{aligned}
Z &= \frac{87}{E_r+1,41} L_n\left(\frac{5,98 \cdot 0,12\text{mm}}{0,8W+35\mu\text{m}}\right) \\
Z_1 &= \frac{87}{4,27+1,41} L_n\left(\frac{5,98 \cdot 0,12\text{mm}}{0,8W+35\mu\text{m}}\right), W_1 = 0.18441\text{ mm} \\
Z_2 &= \frac{87}{4,24+1,41} L_n\left(\frac{5,98 \cdot 0,12\text{mm}}{0,8W+35\mu\text{m}}\right), W_2 = 0.18523\text{ mm} \\
Z_3 &= \frac{87}{4,23+1,41} L_n\left(\frac{5,98 \cdot 0,12\text{mm}}{0,8W+35\mu\text{m}}\right), W_3 = 0.18551\text{ mm}
\end{aligned} \tag{2.2}$$

Tab. 2.5: Porovnanie vypočítanej šírky cesty pomocou rovnice 1.2 a aplikácie PCB Toolkit

$f$ [MHz]	$E_r$ [ ]	$W$ [mm]	
		Rovnica	PCB Toolkit
900	4,27	0,184	0,207
1800	4,24	0,185	0,208
2400	4,23	0,185	0,208

Pri rozmiestňovaní jednotlivých blokov na dosku treba zohľadniť, či sa jedná o blok s prevážne digitálnym signálom alebo analógovým. Vysoko frekvenčný digitálny signál so svojimi prudkými zmenami spôsobuje šum na napájacej vetve ako aj možné naindukovanie napätia na okolité cesty. Pri digitálnom signále o úrovni 0 V alebo 1,8 V jemná zmena napätovej úrovne nehrá rolu, pri analógovom signále však môže dôjsť k podstatnej zmene. Z tohoto dôvodu, pokiaľ je to možné, je vhodné dosku rozdeliť na analógovú a digitálnu časť.

Keďže väčšina blokov komunikuje iba s hlavnou riadiacou jednotkou, je logické umiestniť ju práve do stredu dosky a ostatné bloky okolo nej. Týmto rozmiestnením je zabezpečená porovnateľne krátka dĺžka ciest. Súčasne dôjde k oddeleniu digitálnej časti dosky od analógovej, kedy tá digitálna sa nachádza najmä okolo hlavnej riadiacej jednotky. Je tak splnený predpoklad pre elimináciu prenosu šumu z digitálnych ciest do tých analógových.



Obr. 2.7: Pohľad na 3D vizualizáciu hotovej dosky v programe KiCad

## 2.3 Návrh softvéru pre dosku

Základom hlavnej riadiacej jednotky je procesor ARM Cortex M4. K programovaniu ARM procesorov existuje viacero vývojových prostredí. Firma Nordic ponúka knižnice a vývojové prostriedky pre tri z nich: uVision Keil priamo od firmy ARM, IAR Embedded Workbench od firmy IAR Systems a Embedded Studio od firmy Segger. Z týchto troch je jediné Embedded studio dostupné pre nekomerčné účely zadarmo. Ostatné sú dostupné iba v lite verzii, kde je obmedzená veľkosť skompilovaného kódu, ktorý by nestačil pre tento projekt.

Toto prostredie je intuitívne a jednoduché na používanie. Okrem možnosti písania kódu je v ňom možné aj okamžité otestovanie na doske. Komunikácia pre-

bieha cez SEGGER programátor, konkrétne je použitý protokol SWD<sup>9</sup>. Výhodou je nutnosť použitia iba troch/štyroch vodičov: SWDIO, SWDCLK, GND prípadne VTref pre správne nastavenie napájacej úrovne digitálnej logiky. Následne je možné kód krokovať inštrukciu po inštrukcii a kontrolovať správanie kódu. Výhodou je aj možnosť použitia RTT<sup>10</sup> protokolu, čo je možnosť obojstrannej komunikácie medzi programátorom a procesorom pre kontrolovanie správneho behu kódu, prípadne pre zadanie užívateľského vstupu.

### 2.3.1 nRF5 SDK - Vývojové knižnice

Firma Nordic Semiconductors ponúka ku svojim modulom SDK knižnice kompatibilné naprieč celou ich radou. Preto je možný jednoduchý upgrade kódu v prípade vyvinutia nového modulu. Aktuálne najnovšia verzia je v15.2. Základom tohoto SDK je tzv. SoftDevice. Jedná sa o predom skompilovaný hotový stack pre obsluhovanie BT spojenia. Pre modul nRF52832 existujú dve rôzne verzie. Verzia S132 je určená pre náročnejšie aplikácie s podporou až 20 spojení naraz. Oproti tomu verzia S112 je určená pre jednoduchšie aplikácie s podporou maximálne 4 spojení naraz. Vďaka tomu je menej pamäťovo aj výpočtovo náročná. Oba stacky podporujú BT verziu 5.0 spolu s odnožou BLE, ktorá je orientovaná na jednoduchšie zariadenia a nízku spotrebu.

Okrem podpory pre BT komunikáciu obsahuje SDK aj knižnice pre celkovú obsluhu konkrétnych periférií a čipu samotného. Oproti práci priamo s registrami síce nie je dosiahnutá rovnaká efektivita a veľkosť kódu, avšak vývoj novej aplikácie je zásadne jednoduchší a rýchlejší. Celá knižnica je kvalitne zdokumentovaná v Infocentre[16]. Takmer každá knižnica obsahuje aj jednoduchý príklad pre ľahšie pochopenie funkčnosti a obsluhy.

### 2.3.2 Obsluha akcelerometra ADXL362

Komunikácia s akcelerometrom prebieha pomocou SPI protokolu. Akcelerometer pracuje v špeciálnom šetriacom režime, kedy meranie prebieha približne iba 6 krát za sekundu. Tento režim je vhodný pre detekciu pohybu. Pre správnu funkčnosť je nutné nastaviť požadovanú úroveň akcelerácie a požadovanú dobu, kedy je meraná úroveň akcelerácie vyššia ako nastavená úroveň. Je nutné nájsť kompromis, medzi

---

<sup>9</sup>Serial Wire Debug - Sériový programovací a testovací protokol používaný pri ARM procesoroch.

<sup>10</sup>Real-Time Transfer - Protokol pre komunikáciu s ARM procesorom bez vplyvu na normálny beh aplikácie.

častým zobúdzaním zariadenia a presnosťou detekcie. Vzhľadom na vysokú dôležitosť správnej detekcie bolo snahou doceliť 100% úspešnosť detekcie aj za cenu vyššej spotreby. Akcelerometer je preto nastavený na detekčnú úroveň rovnú 1100000000b. Táto hodnota (register *THRESH\_ACT*) je porovnávaná s absolútnou hodnotou aktuálne nameraného zrýchlenia, ktoré je taktiež 11 bitov veľká. Reálna úroveň zrýchlenia, ktorá odpovedá hodnote v registry je však závislá od nastaveného meracieho rozsahu. Ten bol nastavený na hodnotu  $\pm 4g$ . 1 LSB<sup>11</sup> teda odpovedá zrýchleniu 1 mg. Nastavená úroveň detekcie je teda rovná približne 1,5 g podľa rovnice 2.4.

Okrem hodnoty zrýchlenia je nutné nastaviť aj čas, počas ktorého je meraná úroveň väčšia ako hraničná (register *TIME\_ACT*). Tento čas bol nastavený na hodnotu 0,2 s podľa rovnice 2.3. Výsledná čas vychádza z meracej frekvencie, ktorá bola nastavená na najnižšiu možnú, teda 25 Hz (register *ODR*).

$$\begin{aligned} time[s] &= TIME\_ACT/ODR \\ time[s] &= 5/25 \\ time[s] &= 0,2 \end{aligned} \tag{2.3}$$

$$\begin{aligned} THRESH\_ACT[g] &= THRESH\_ACT[hodnota]/sensitivita \\ THRESH\_ACT[g] &= 768/500 \\ THRESH\_ACT[g] &\approx 1,5 \end{aligned} \tag{2.4}$$

V prípade zachytenia zrýchlenia väčšieho ako 1,5 g po dobu dlhšiu ako 0,2 s teda dôjde k aktivácii prerušenia na výstupe INT2. Potom je na riadiacej jednotke, aby toto prerušenie zachytila a správne vynulovala prečítaním stavového registra. Aby nedochádzalo k prerušeniam počas normálneho chodu aplikácie, je toto prerušenie na strane riadiacej jednotky ignorované a sledované iba v stave spánku.

### 2.3.3 Obsluha sledovača nabitia MAX17260

Na komunikáciu s modulom je použitý protokol I2C. Základná inicializácia modulu spočíva v nahratí základných parametrov batérie, teda kapacity a napäťovej úrovne

---

<sup>11</sup>Least Significant Byte - Označuje byte pri súvislej dátovej komunikácii s najmenšou hodnotou. Opakom je MSB.

pri nabitom a vybitom stave. Súčasne treba pri inicializácii skontrolovať, či bol modul resetovaný alebo nie. Pokiaľ áno, je doň nutné nahráť predtým uložené parametre z flash pamäte, ktoré bližšie popisujú vybíjajúcu a nabíjajúcu charakteristiku batérie. Tieto parametre sa každým cyklom aktualizujú a je nutné ich vo flash pamäti aktualizovať. Pre ich ukladanie bola vytvorená vlastná dátová štruktúra pomenovaná *battery\_params*. Použitie štruktúry uľahčuje ukladanie do pamäte, kedy je nutné pristupovať iba na jednu adresu. Celková veľkosť štruktúry je 10 bytov, pri zápise je však nutné doplniť ďalších 6 bytov, pretože radič vie pracovať iba s dátami o násobku čísla 2. Dopĺňujúce byty vyplníme logickými jednotkami. Pri aktualizácii týchto parametrov nie je možné zmeniť bunku na logickú 0 a preto je nutné zmazať prislúchajúcu stránku (memory page), ktorá je veľká až 4kB. Zmazanie znamená priradenie logickej 1 celej stránke. Keďže flash pamäť má obmedzené množstvo prepisov, je dôležité obmedziť množstvo zápisov na minimum. Výstupom z modulu je hlavne percentuálna hodnota nabitia batérie, ale aj predpokladaný čas do vybitia pri aktuálnej spotrebe alebo predpokladaný čas nabitia a podobne.

```
typedef struct{
    uint16_t savedRCOMP0;
    uint16_t savedTempCo;
    uint16_t savedFullCapRep;
    uint16_t savedCycles;
    uint16_t savedFullCapNom;
} battery_params_t;
```

### 2.3.4 Obsluha GSM modulu SARA G340 a GPS modulu Zoe M8G

Komunikácia s modulom prebieha cez protokol UART pomocou AT<sup>12</sup> príkazov. Jedná sa o jednoduchý textový príkaz skladajúci sa z názvu príkazu a jeho parametrov, v tvare “AT+PRIKAZ=PARAMETRE/r/n”. Modul po spracovaní príkazu odošle naspäť odpoveď, ktorá môže byť všeobecného charakteru typu OK, ERROR a podobne alebo zložitejšieho závislá od konkrétneho príkazu. Vytvoriť kompletnú knižnicu by teda znamenalo vedieť odoslať všetky dostupné príkazy a vedieť reagovať na odpoveď. Pre potrebu tejto práce bola vytvorená základná knižnica obsahujúca príkazy nutné k nadviazaniu spojenia s mobilnou sieťou a odosielanie SMS zprávy na mobilný telefón užívateľa.

---

<sup>12</sup>Attention príkazy - Kedysi taktiež označovaný Hayes Command set = súbor príkazov vyvinutý Dennisom Hayesom pôvodne vyvinutý pre modem Hayes Smartmodem 300.

V stave nečinnosti je modul taktiež možné vypnúť cez AT príkaz. Následnú prebudenie je možné stiahnutím *POWER\_ON* signálu na logickú 0 aspoň na 10 ms. Vždy po reštarte je nutná inicializácia modulu. Modul je nastavený na automatické pripojenie do siete vždy po zapnutí, je však nutné skontrolovať, či je spojenie aktívne.

Ako bolo popísané v teoretickom úvode, výhodou použitia GSM a GNSS modulov od firmy U-Blox je možnosť komunikácie s GNSS modulom priamo cez GSM modul. Inicializácia spočíva v povolení ukladania reťazcov o polohe priamo do GSM modulu a základnej inicializácie GNSS modulu, teda nastavenie, na akých navigačných systémoch má modul pracovať. Následne je možné čítať poslednú známu pozíciu priamo z GSM modulu, aj keď je GNSS modul už vypnutý. Vďaka spojeniu modulov je možné využiť aj rôzne asistenčné služby, čo pomáha ku rýchlejšiemu chyteniu GNSS signálov. Celá komunikácia medzi modulmi prebieha autonómne, bez zásahu riadiacej jednotky.

### 2.3.5 Hlavná riadiaca jednotka

Po zapnutí hlavnej riadiacej jednotky po reštarte alebo uspatí je nutná inicializácia všetkých potrebných knižníc a periférii čipu. Medzi ne patrí:

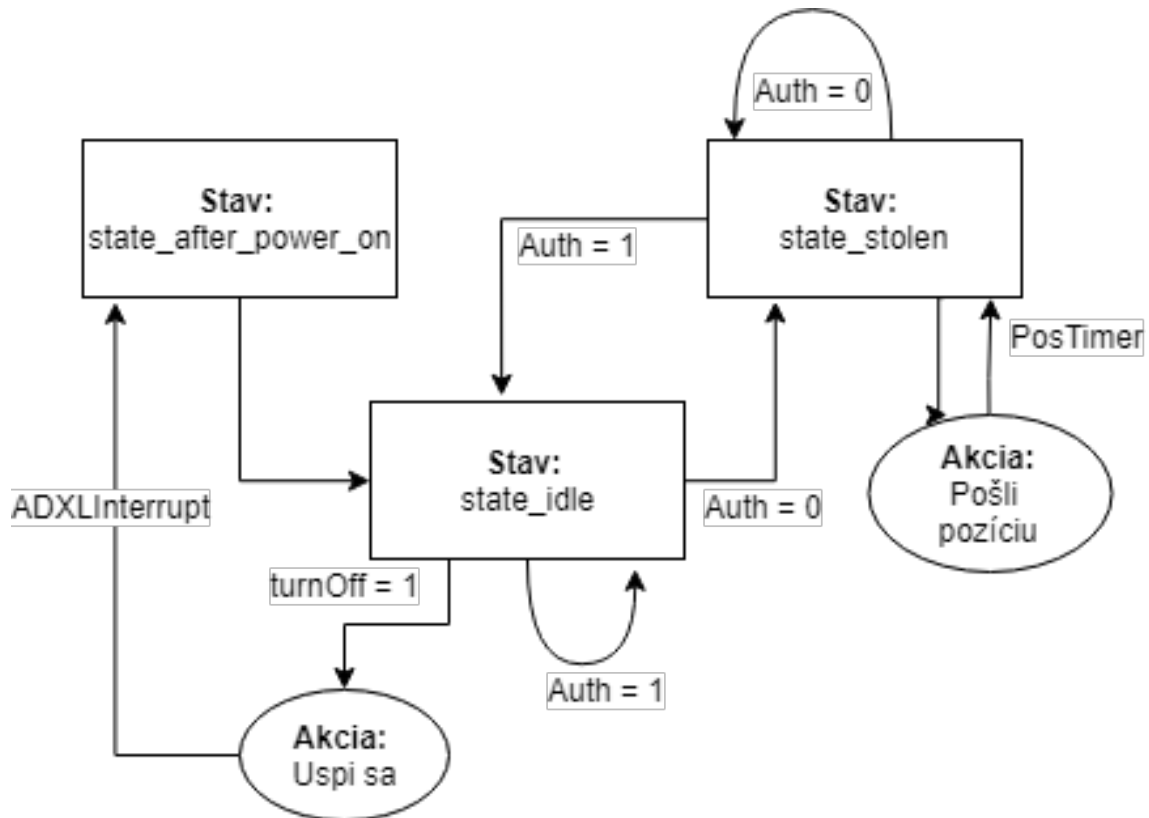
- Knižnica pre obsluhu flash pamäte.
- Knižnica pre jednoduché logovanie.
- Časovače použité pre obsluhu BLE spojenia a na autentifikáciu po pripojení.
- Knižnice pre obsluhu BLE spojenia, vytvorenie profilu a charakteristík, začatie vysielania.
- Knižnice a periférie pre protokoly I2C, SPI a UART.

Hlavná slučka programu pozostáva zo stavového automatu, ktorý má definované tri rôzne stavy definované vo výčtovom type nazvanom **states**. Okrem aktuálneho stavu sa v pamäti udržiava aj stav predchádzajúci a stav nasledujúci. Ku prepínaní stavov dochádza vždy na konci hlavnej smyčky, kedy sa ako aktuálny stav pre nasledujúci krok smyčky nastaví ten nasledujúci z aktuálnej, a obdobne sa ako predchádzajúci stav nasledujúceho kroku nastaví aktuálny stav. Následne sa zariadenia dá do úsporného režimu, kedy sa čaká na ďalšiu udalosť, ktorú môže vyvolať obsluha BLE spojenia, vypršanie niektorého z aplikačných časovačov alebo zmena sledovaných vstupných pinov. Týmto spôsobom sa šetrí spotreba zariadenia elimináciou vykonávania zbytočných inštrukcií procesora.



```
typedef enum{
    state_after_power_on ,
    state_stolen ,
    state_idle ,
    state_charging
} states;
```

Výpis 2.2: Definícia výčtového typu states a jeho rôzne stavy



Obr. 2.8: Statový automat hlavnej smyčky zariadenia a obsluha udalostí

### Stav po resete zariadenia

V kóde uvádzaný ako stav `state_after_power_on` je prvotným stavom, v ktorom sa aplikácia po prebudení nachádza. Dochádza tu k inicializácii jednotlivých externých modulov. Čo tento proces obsahuje je bližšie popísané u jednotlivých modulov vyššie. Taktiež sa tu za zapne 10 sekundový časovač, ktorý odrátava čas potrebný na autorizáciu. Pokiaľ sa do vypršania časovača na zariadenie nepripojí

užívateľ a neautorizuje sa, predpokladá sa stav ukradnutia. Nakoniec sa nastaví nasledujúci stav do stavu `state_idle`.

### Stav čakania

Nazvaný stav `state_idle` je, ako aj z názvu vyplýva, stav, kedy sa nič nedeje a čaká sa. Buď dôjde k vypršaniam časového limitu na autentifikáciu a prejde sa do stavu ukradnutia, alebo sa užívateľ autorizuje a čaká sa na príkazy cez BLE spojenie. Ku komunikácii sa využíva profil pre simuláciu UART protokolu. Obsahuje teda dve rôzne služby RX a TX z pohľadu pripojeného užívateľa. Na strane zariadenia je vytvorený jednoduchý dekodér prijatých príkazov. Definované sú nasledujúce príkazy:

- **pass:** - Príkaz slúži pre zadanie hesla na autentifikáciu pripojeného zariadenia. Pokiaľ nedôjde k zadaniu správneho hesla do vypršania časového limitu, zariadenie sa považuje za ukradnuté a prechádza do stavu ukradnutia.
- **getBattery** - Príkaz slúži na prečítanie aktuálneho stavu batérie v percentách.
- **turnOff** - Príkaz slúži pre uspanie zariadenia a externých modulov, okrem akcelerometra. Ten ostáva aktivovaný a hlavná riadiaca jednotka je nastavená na zobudenie v prípade došlého prerušenia z akcelerometra.
- **setNumber** - Príkaz slúži pre nastavenie telefónneho čísla na odosielanie SMS zprávy.

V tomto stave zariadenia ostáva, dokým nedostane pokyn k uspaniu, nevyprší autorizačný časovač alebo sa autorizovaný užívateľ nepojí. V tomto prípade sa zariadenia taktiež uspáva, podobne ako príkazom “turnOff”.

### Stav ukradnutia

Po prvom prepnutí zariadenia do stavu `state_stolen` dôjde k zapnutiu a inicializácii GSM a GNSS modulov. Taktiež sa zapne časovač

(nastavený na čas 30 sekúnd), po uplynutí ktorého dôjde k aktualizácii a odoslaniu polohy na mobilný telefón. Aktualizácia pozostáva zo získania poslednej polohy pomocou AT príkazu a odoslania cez SMS zpravu. V stave ukradnutia ostáva zariadenia až dokým sa užívateľ nepripojí a neautorizuje.

### **3 REALIZÁCIA DPS A NÁVRH NA ZLEPŠENIE ZARIADENIA**

Táto kapitola zhrňa poznatky a skúsenosti súvisiace s výrobou DPS. Opisuje praktickú časť zariadenia od jeho výroby až po oživenie a otestovanie. V závere kapitoly popisuje návrhy na zlepšenie finálneho zariadenia zistené počas realizácie vývojového kitu.

#### **3.1 Výroba a osadenie dosky**

Výroba samotnej DPS prebiehala v čínskej firme Smart Prototyping z dôvodu lepšej ceny ako u nás, ale podľa recenzií dostatočnej kvality. Pri výrobe bola požiadavka na nezakrytie via prepojav krycou maskou z dôvodu jednoduchšieho testovania. Toto riešenie však prinieslo aj nevýhody, pretože z dôvodu malej vzdialenosti medzi niektorými via prepojmami a plochami súčiastok, najmä pod nimi, je zvýšené riziko vytvorenia skratu pri osadzovaní. Vhodnejšie by teda bolo prepoje pod súčiastkami zakryť, prístup k nim bude aj tak zamedzený samotnou súčiastkou.

Osadenie dosky bolo realizované spoločnosťou AMSET v Bratislave. Vzhľadom na malé množstvo boli osadzované ručne. Pri osadzovaní bolo zistené, že niektoré súčiastky nie je možné zrotovať podľa výkresu. Ukázalo sa, že súčiastky mali zle vytvorený footprint, kde očíslovanie pinov bolo zrkadlovo prevrátené. Chyba vznikla z nepozornosti pri realizácii layoutu dosky. Touto chybou boli postihnuté dve súčiastky. Nízkošumový zosilňovač na anténnej RF ceste ku GNSS modulu a vysokofrekvenčný filter medzi SIM konektorom a GSM modulom. Výroba ďalšej dosky nebola v cenových ani časových možnostiach. Z tohoto dôvodu bolo neskôr zistená obmedzená funkčnosť GSM a GNSS modulu, napriek snahe ručnej opravy chyby a predrôtovania

signálov. Vzhľadom na vysokofrekvenčnú povahu signálov však došlo k silnému útlmu signálov na pridaných drôtoch a spojoch, rovnako ako zvýšenému vplyvu šumu. Integrita signálov teda bola porušená a komunikácia nestabilná.

### 3.2 Oživenie dosky a test modulov

Prvé testovanie dosky pozostávalo z pripojenia zdroja, ktorý simuloval pripojenú batériu o napätí 4,2 V. Postupným zvyšovaním prúdovej ochrany bolo otestované, že na zariadení nedôjde ku skratu. Následne sa otestovali výstupné napätia napäťových regulátorov. Výstupy fungovali a boli presne podľa požiadavky, teda 1,8 V a 3.0 V.

Pre programovanie bol použitý programátor od firmy Segger, J-Link EDU. Jedná sa o študentskú verziu, ktorá je lacnejšia a pre nekomerčné účely voľne použiteľná. Tento programátor je kompatibilný s rôznymi napäťovými logickými úrovňami, kedy ako referencia slúži napätie pripojené na  $VT_{ref}$  pin. Po správnom pripojení cez SWD protokol bol BLE modul viditeľný a bolo ho možné úspešne programovať a testovať.

Napájací zdroj bol vymenený za jednočlánkovú Li-Ion batériu o kapacite 2200mAh a veľkosti štandardu 18650. Po pripojení na USB kábel bolo úspešne otestované nabíjanie batérie. Nabíjací prúd je v závislosti od výstupného signálu ISet rovný 0,9 A, respektíve 0,45 A. Rozdiel od očakávaných 1 A a 0,5 A je spôsobený toleranciou nastavovacích odporov.

Po naprogramovaní kódu boli otestované zvyšné moduly. Okrem očakávaných problémov so spojením so SIM kartou a príjmom GNSS signálu sa nevyskytli iné problémy. Pri GSM module bolo možné zachytiť všetky dostupné siete, ale bez SIM karty sa nie je možné zaregistrovať. BT spojenie s telefónom je funkčné a stabilné.

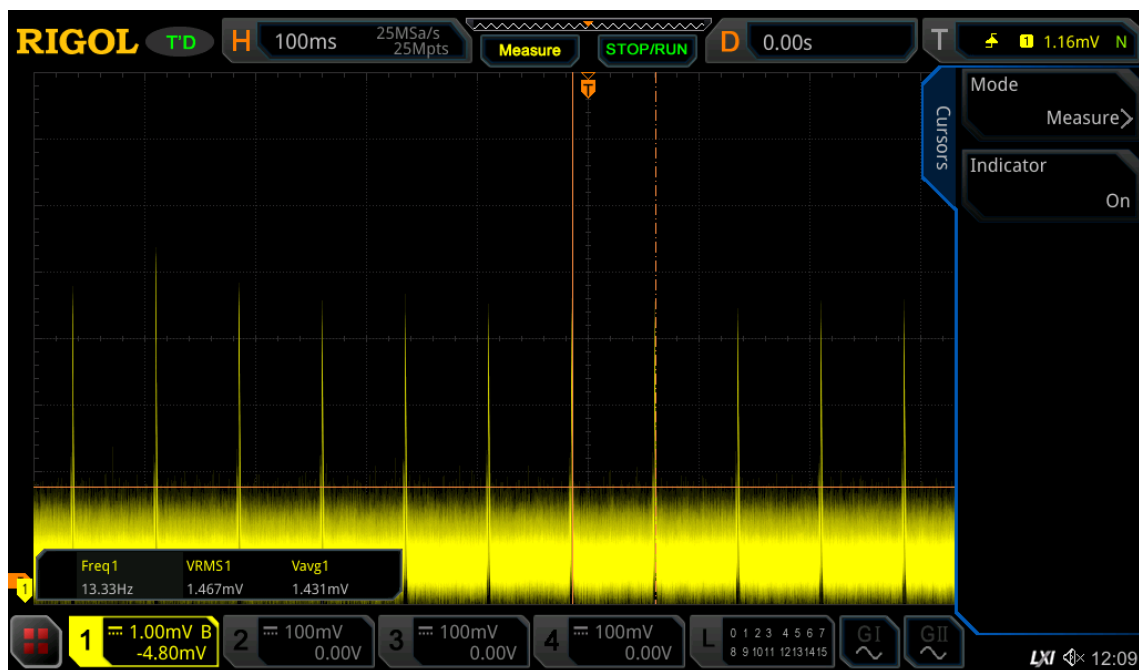
### 3.3 Spotreba zariadenia

Prúd tečúci do zariadenia bol meraný ako úbytok napätia  $V_{RMS}$  na odpore  $R = 1 \Omega$  násobený jeho hodnotou. Úbytok na odpore bol zistený osciloskopom, ako kvadratický priemer napätia  $V_{RMS}$  počas 200 ms merania. Z tejto hodnoty bol odrátaný interný šum osciloskopu  $V_{RMSn}$ . Výsledný prúdový odber je vypočítaný podľa rovnice 3.1.

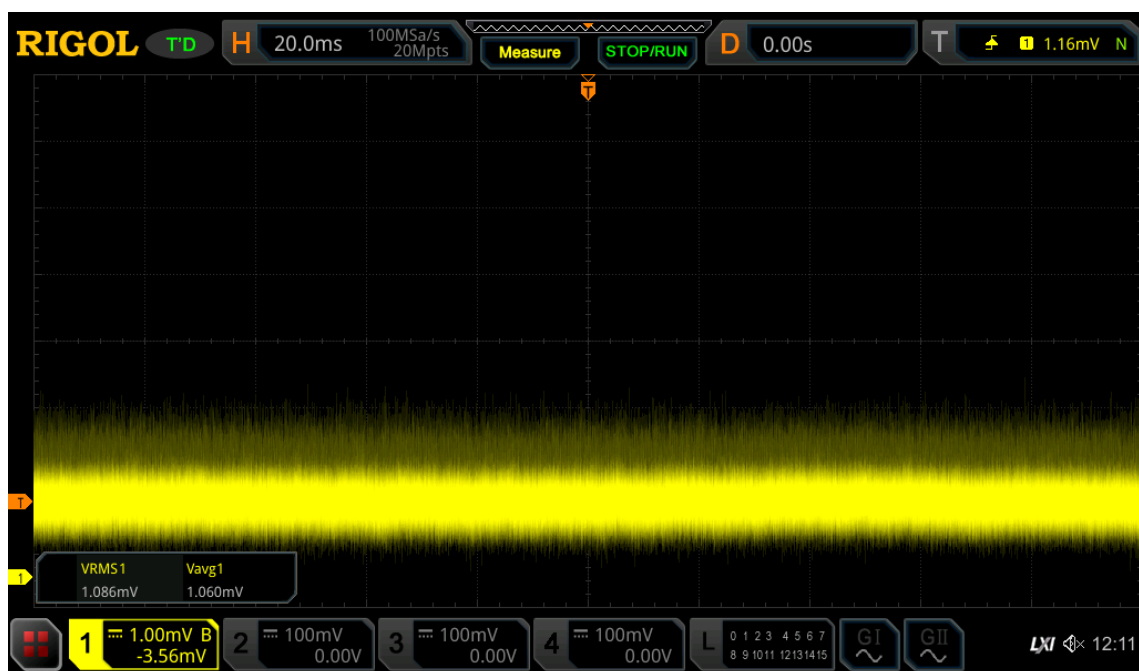
$$I_{idle} = \frac{V_{RMS} - V_{RMSn}}{R} = \frac{V_{RMS} - V_{RMSn}}{1} = V_{RMS} - V_{RMSn} \quad (3.1)$$

Priemerná spotreba zariadenia je silno závislá od aktuálneho stavu, v ktorom sa zariadenia nachádza a je definovaná množstvom externých modulov, ktoré sú práve aktívne. Medzi moduly, ktoré sú aspoň čiastočne aktívne neustále patria: BLE modul nRF52832, akcelerometer ADXL362 a sledovač stavu batérie MAX17260. Práve tieto moduly sú aktívne v stave spánku zariadenia.

V stave čakania je BLE modul zobudený a prebieha udržiavanie spojenia s mobilným telefónom. Použitím BLE protokolu a optimalizáciou kódu je však reálne modul väčšinu času aj tak v spánku a spotreba je iba o niečo väčšia. To je patrné z obrázkov 3.1 a 3.2, kde sú viditeľné napäťové špičky spôsobené komunikáciou zariadenia cez BT s mobilným telefónom. Zistené prúdové odbery v stave čakania a v uspanom stave sú uvedené v tabuľke 3.1.



Obr. 3.1: Pribeh úbytku napätia na odpore v stave čakania



Obr. 3.2: Pribeh úbytku napätia na odpore v stave uspania

Tab. 3.1: Priemerná spotreba v stave čakania a uspania spolu s výdržou na 2200 mAh batériu

	$V_{\text{RMS}} [\mu\text{V}]$	$I [\mu\text{A}]$	Životnosť pri kapacite 2200 mAh
<b>Stav čakania</b>	1467	1210	$\approx 75$ dní
<b>Stav uspatia</b>	1086	829	$\approx 110$ dní

K najväčšej spotrebe energie dochádza v stave ukradnutia, kedy je potrebné prebudenie GSM aj GNSS modulu. Posielaním aktualizácii o polohe na HTTP server dochádza k najväčším prúdovým odberom, ktoré môžu dosiahnuť špičkovu až jednotky ampérov. Je teda snahou skrátiť početnosť aktualizácii a veľkosť samotnej zprávy. Kvôli chybe pri návrhu dosky však nie sú dostupné reálne odmerané dáta o spotrebe. Aktuálna spotreba je okrem toho závislá aj od intenzity sieťového signálu a frekvencie. Na Slovensku sú použité frekvencie 900 MHz aj 1800 MHz, nižšej spotreby sa dosahuje pri vyššej frekvencii. Udávaná priemerná spotreba po dobu 10 sekúnd GSM modulu pri aktívnom GPRS spojení je pri frekvencii 900 MHz rovná 300 mA a pri 1800 MHz rovná 210 mA.

### 3.4 Návrhy na zlepšenie

Dôvodom pre realizáciu tohoto vývojového systému bolo overenie vybraných technológií a modulov. Počas vývoja softvéru bolo zistených niekoľko nedostatkov a nápadov na zlepšenie do budúcnosti. Na nasledujúcich stránkach sú rozdelené do rôznych kategórií.

#### Napájanie

S napájaním neboli zistené žiadne zásadné problémy. Vybrané napäťové regulátory spolu s nabíjacím obvodom fungujú podľa očakávaní. Obvod pre zisťovanie stavu nabitia batérie je funkčný a softvérový jednoduchý na implementáciu. Napájanie GNSS modulu bolo z



dôvodu väčšej úspory energie vyvedené z vetvy napäťového regulátora, ktorú je možné povoľovacím signálom vypnúť. Na toto napätie boli taktiež napojené pull-up rezistory slúžiace pre I2C komunikáciu. Okrem GNSS modulu je však na tento I2C protokol napojený aj obvod MAX17260, ktorý naopak musí byť aktívny neustále. Riešením je zapojenie pull-up rezistorov na vetvu z regulátora, ktorá je aktívna neustále. Pri návrhu bolo totiž zistené, že mať I2C linku medzi GNSS modulom a hlavnou riadiacou jednotkou je zbytočné a komunikácia cez GSM modul je postačujúca. Pre lepšie testovanie by bolo vhodné osadenie meracích bodov na meranie prúdu tečúceho do hlavných modulov na DPS pre presnejšie meranie vplyvu softvérových zmien na spotrebu.

### **Obsluha zariadenia**

Aktuálny spôsob odosielania cez SMS zprávy je možné nahradiť jednoduchým WEB serverom pre zprávu dát a prípadne aplikáciou pre mobilný telefón. Odosielanie dát na server by prebiehalo cez HTTPS protokol pomocou HTTP príkazov. Okrem zobrazovania polohy zo serveru môže byť funkcionality rozšírená aj o možnosť nastavovania zariadenia cez BT spojenie a kontrolu stavu batérie. Z dôvodu detekcie krádeže by aplikácia bežala na pozadí a v pravidelných intervaloch kontrolovala na serveri, či došlo k ukradnutiu. V prípade krádeže by aplikácia zapla alarm, aby upozornila užívateľa.

### **Osadenie bzučiakom**

Pre lepšie možnosti nájdenie bicykla na polohe udávanej zariadením by bolo vhodné osadenie zariadenia bzučiakom. Užívateľ by mohol potom po nadviazaní BT spojenia so zariadením tento bzučiak aktivovať a podľa zvuku lepšie lokalizovať ukradnutý bicykel. Výhodou by bolo možné lokalizovanie aj v uzatvorených priestoroch, kedy lokalizácia pomocou GNSS nie je možná.

## 4 ZÁVER

Táto diplomová práca sa venuje koncepčnému návrhu sledovacieho zariadenia na bicykel pre prípad krádeže od teoretického popisu použitých technológií a systémov až po praktickú realizáciu navrhnutého zariadenia, ktoré slúži na otestovanie a validáciu návrhu.

Navrhnuté zariadenie je schopné detekovať krádež pomocou akcelerometra pri minimálnej spotrebe, vďaka čomu je získaná výdrž na batériu dosahujúca 75 až 110 dní, podľa častosti jazdenia. Aby nedošlo k vybitiu batérie počas krádeže je zariadenie osadené sledovačom stavu batérie, vďaka čomu je užívateľ presne informovaný o zvyšnej kapacite batérie.

V prípade detekcie krádeže dôjde k aktivácii osadeného GSM a GNSS modulu, slúžiacich na získanie aktuálnej pozície pomocou satelitných navigačných systémov GPS, Galileo a GLONASS a odoslanie upozornenia o krádeži cez SMS zprávu. Aktuálna poloha je v pravidelných intervaloch odosielaná taktiež cez SMS zprávu, zariadenie je však navrhnuté aj pre možnosť odosielania polohy cez internetové spojenie.

Navrhnutím tohoto vývojového kitu bolo možné overiť použité technológie a celkovú funkčnosť zariadenia, vďaka čomu je možné postúpiť nasledujúci krok finančne náročnej minimalizácie zariadenia pre možnosť osadenia do riadidiel bicykla, so zníženým rizikom celkovej nefunkčnosti zariadenia.

## LITERATÚRA

- [1] Community: SIM card format and size comparison. [online].  
URL <http://socialcompare.com/en/comparison/sim-card-format-and-size-comparison>
- [2] Department of Defense, United States of America: *GLOBAL POSITIONING SYSTEM, STANDARD POSITIONING SERVICE, PERFORMANCE STANDARD*. September 2008.  
URL <https://www.gps.gov/technical/ps/2008-SPS-performance-standard.pdf>
- [3] Douglas Brooks, P.: PCB Impedance Control: Formulas and Resources. [online].  
URL <https://www.ultracad.com/articles/formula.pdf>
- [4] European Space Agency: *Galileo*. August 2016.  
URL [http://esamultimedia.esa.int/docs/technology/Constellation\\_status.pdf](http://esamultimedia.esa.int/docs/technology/Constellation_status.pdf)
- [5] Habrich, H.: *Geodetic applications of the global navigation satellite system (GLONASS) and of GLONASS / GPS combinations*. Dizertační práce, University of Berne, Switzerland, 1999.
- [6] Hoffmann-Wellenhof, B.; Lichtenegger, H.; Wasle, E.: *GNSS - Global Navigation Satellite System*. Springer-Verlag Wien, 2008, ISBN 978-3-211-73012-6.
- [7] Hrdina, Z.; Vejražka, F.; Pánek, P.: *Radiové určování polohy*. Vydavatelství ČVUT, 1999, ISBN 80-01-01386-3.
- [8] LIMITED, K. L. H.: KB-6160/6160A/6160C ANSIFR-4. [online].  
URL [https://www.smart-prototyping.com/image/data/1\\_services/1\\_electrical/PCB%20parameter.pdf](https://www.smart-prototyping.com/image/data/1_services/1_electrical/PCB%20parameter.pdf)

- [9] Observatory, U. N.: USNO NAVSTAR Global Positioning System. [online].  
URL <http://www.usno.navy.mil/USNO/time/gps/gps-info>
- [10] Pistoia, G.: *Battery Operated Devices and Systems*. Elsevier, 2008, ISBN 978-0-444-53214-5.
- [11] Prototyping, S.: Smart Prototyping. [online].  
URL <https://www.smart-prototyping.com>
- [12] Republiky, T. A. S.: Krádeže bicyklov v Bratislave prudko stúpajú. [online], 2016.  
URL <https://auto.sme.sk/c/20530492/kradeze-bicyklov-v-bratislave-prudko-stupaju.html>
- [13] Russian Institute of Space Device Engineering: *GLONASS interface control document*. 2008.  
URL <http://gauss.gge.unb.ca/GLONASS.ICD.pdf>
- [14] SamacSys: SamacSys Component Search. [online].  
URL <https://componentsearchengine.com/>
- [15] Saturn PCB Design, I.: Saturn PCB toolkit. [online].  
URL [http://www.saturnpcb.com/pcb\\_toolkit/](http://www.saturnpcb.com/pcb_toolkit/)
- [16] Semiconductor, N.: Nordic Semiconductor Infocenter. [online].  
URL <https://infocenter.nordicsemi.com/index.jsp>
- [17] Semiconductor, N.: Wirelles Quarter. [online].  
URL [https://www.nordicsemi.com/-/media/Images/News/WQ/2018/ULP\\_WQ\\_Winter\\_2018.pdf](https://www.nordicsemi.com/-/media/Images/News/WQ/2018/ULP_WQ_Winter_2018.pdf)
- [18] u-blox: *GPS Antennas*. Jún 2009.  
URL [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/GPS-Antenna\\_AppNote\\_%28GPS-X-08014%29.pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/GPS-Antenna_AppNote_%28GPS-X-08014%29.pdf)

- [19] Åstebøl, K.: Bluetooth Low Energy - A short introduction to Bluetooth Low Energy and Nordic Semiconductor. [online].  
URL [https://devzone.nordicsemi.com/cfs-file/\\_\\_key/communityserver-blogs-components-weblogfiles/00-00-00-00-13-DZ-37/Getting\\_started\\_webinar\\_part\\_1.pdf](https://devzone.nordicsemi.com/cfs-file/__key/communityserver-blogs-components-weblogfiles/00-00-00-00-13-DZ-37/Getting_started_webinar_part_1.pdf)
- [20] Český kosmický portál, Informační stránky Koordinační rady ministra dopravy pro kosmické aktivity: *Komponenty systému Galileo*. 2017.  
URL <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/galileo/komponenty-systemu-galileo/>

## ZOZNAM SKRATIEK

GPS	Global Positioning System – globálny lokalizačný systém.
NAVSTAR	GPS Navigation system with timing and ranging Global Positioning System.
PRN	Pseudorandom noise.
C/A code	Coarse/acquisition code.
P-code	Precision code.
GLONASS	Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema - Globálny navigačný satelitný systém.
TT&C	Telemetry, tracking and command - Telemetria, sledovanie a riadenie.
LNA	Low Noise Amplifier - Nízkošumový zosilňovač.
ADR	Automotive Dead Reckoning.
UDR	Untethered Dead Reckoning.
ERIS	External Region Integrity Systems - Externé Regionálne Integrované Systémy.
GCS	Ground Control Segment.
GMS	Ground Mission Segment.
BLE	Bluetooth Low Energy.
GPIO	General Purpose Input Output - Generický vstupno-výstupný port.
DCE, DTE	Data Circuit-terminating Equipment, Data Terminal Equipment - Pojmy pre vzájomne komunikujúce zariadenia užívané v telekomunikačnom prostredí. DCE predstavuje modem a DTE opačnú stranu, väčšinou počítač.
SIM	Subscriber Identity Module - účastnícka identifikačná karta.
IMSI	International Mobile Subscriber Identity - unikátne číslo pridelené operátorom pre SIM kartu.
MEMS	Micro-Electro-Mechanical System -

	Mikromechanicko-elektrický systém.
LDO	Low Dropout Regulator - Lineárny regulátor napájania.
ERC	Electrical rule checking - Kontrola elektrických pravidiel.
UUID	Universally unique identifier - 128 bitová hodnota k unikátnej identifikácii informácii a dát.
SDK	Software Development Kit - Súbor nástrojov a knižníc k jednoduchšiemu vývoji aplikácii.
SWD	Serial Wire Debug - Sériový programovací a testovací protokol používaný pri ARM procesoroch.
RTT	Real-Time Transfer - Protokol pre komunikáciu s ARM procesorom bez vplyvu na normálny beh aplikácie.
LSB	Least Significant Byte - Označuje byte pri súvislej dátovej komunikácii s najmenšou hodnotou. Opakom je MSB.
MSB	Most Significant Byte - Označuje byte pri súvislej dátovej komunikácii s najväčšou hodnotou. Opakom je LSB.
AT	Attention príkazy - Kedysi taktiež označovaný Hayes Command set = súbor príkazov vyvinutý Dennisom Hayesom pôvodne vyvinutý pre modem Hayes Smartmodem 300.
HTTP	Hypertext Transfer Protocol - Aplikačný protokol pre komunikáciu s internetovými servermi.
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure - Rozšírenie HTTP protokolu o šifrovanie komunikácie.
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport - protokol používaný pre výmenu informácii medzi zariadeniami s nízkou datovou náročnosťou.
CoAp	Constrained Application Protocol - protokol používaný pre výmenu informácii medzi zariadeniami s nízkou datovou náročnosťou.
XMPP	Extensible Messaging and Presence Protocol - protokol

používaný pre výmenu informácií medzi zariadeniami s nízkou datovou náročnosťou. Používaný napríklad pre chatovanie.

DDC      Display Data Channel - I2C kompatibilný komunikačný protokol pre komunikáciu medzi U-Blox GSM a GNSS zariadeniami.

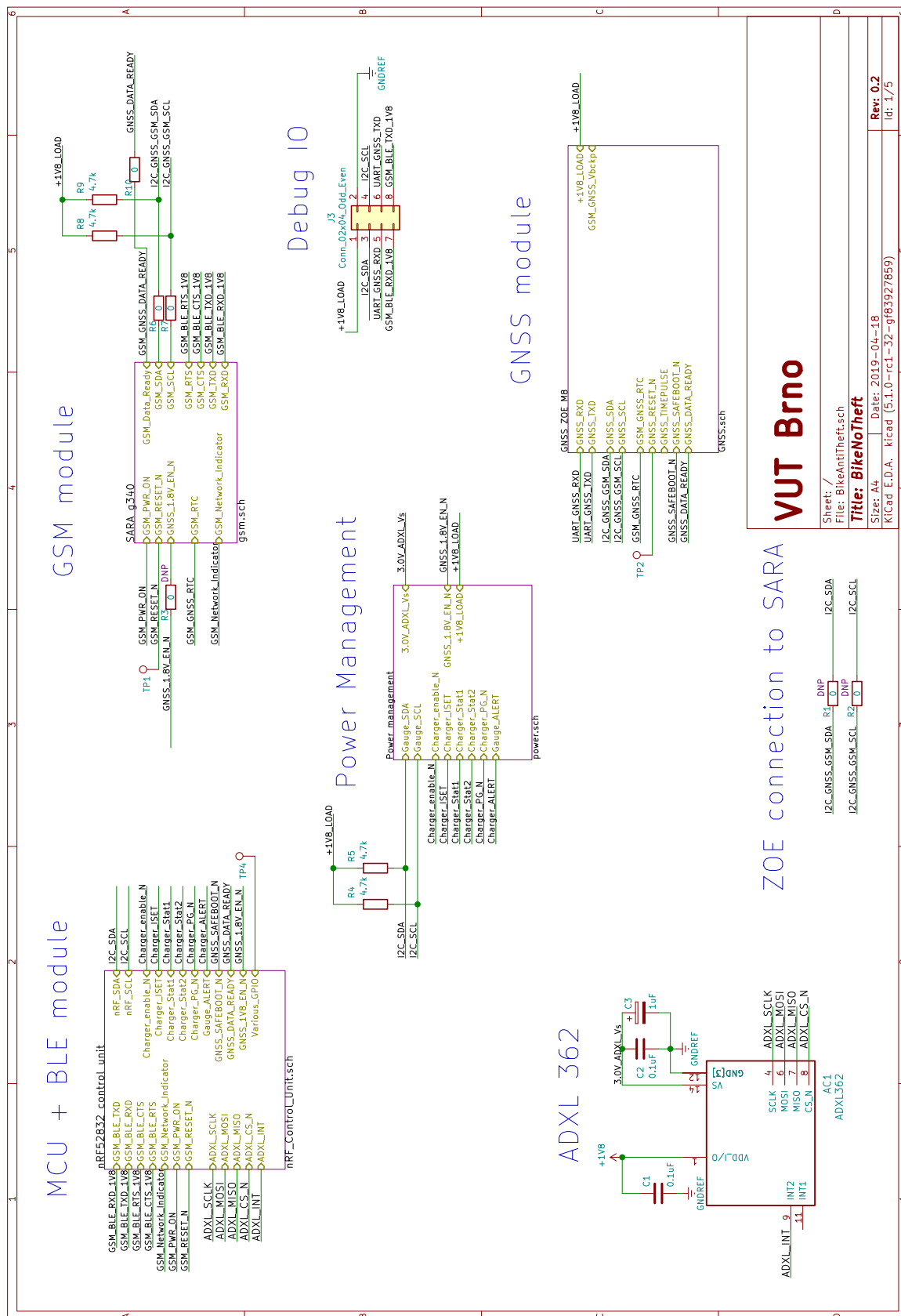


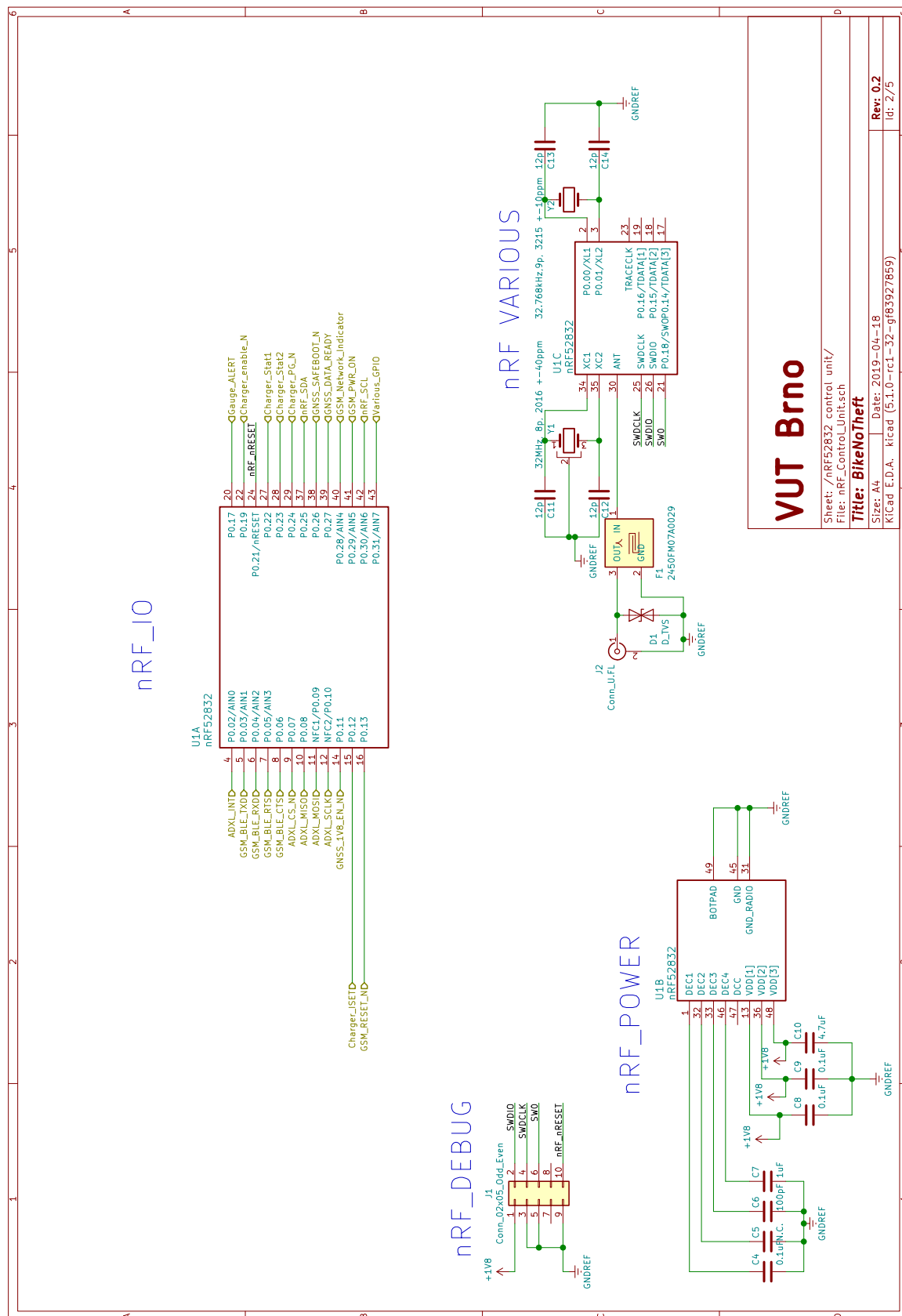
# ZOZNAM PRÍLOH

<b>A</b>	<b>Obvodové zapojenia DPS</b>	<b>57</b>
A.1	Hlavné blokové zapojenie zariadenia . . . . .	57
A.2	Zapojenie hlavnej riadiacej jednotky . . . . .	58
A.3	Zapojenia napájacej časti zariadenia . . . . .	59
A.4	Zapojenia GNSS modulu . . . . .	60
A.5	Zapojenie GSM modulu . . . . .	61
<b>B</b>	<b>Prepojovacie vrstvy DPS</b>	<b>62</b>
B.1	Vrchná vrstva . . . . .	62
B.2	Vrchná vnútorná vrstva . . . . .	63
B.3	Spodná vnútorná vrstva . . . . .	64
B.4	Spodná vrstva . . . . .	65
<b>C</b>	<b>Osadzovací list ku DPS</b>	<b>66</b>
<b>D</b>	<b>Kúsovník ku DPS</b>	<b>67</b>
<b>E</b>	<b>Kúsovník ku DPS</b>	<b>68</b>

# A OBVODOVÉ ZAPOJENIA DPS

## A.1 Hlavné blokové zapojenie zariadenia





The diagram illustrates a PCB layout for a power management system, featuring an ADXL362 accelerometer, a Li-Ion charger/gauge, and a battery connector. The board includes various components like ICs, capacitors, resistors, and a USB-C receptacle. Labels for components and their values are present throughout the diagram.

**ADXL362 Vs Power**

**1V8 Power**

**Battery connector**

**Li-Ion Charger + Gauge**

**VUT Brno**

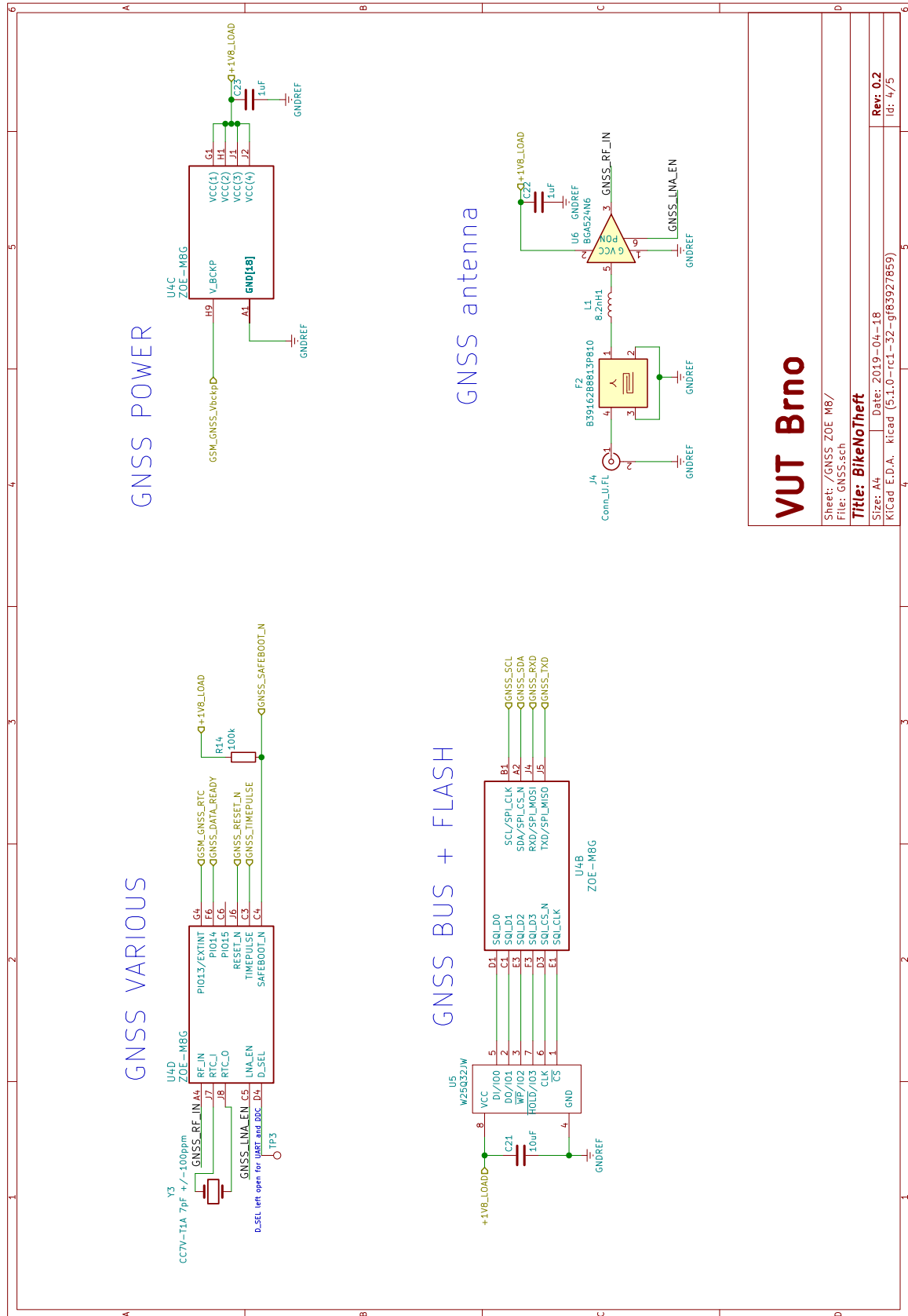
**Sheet: /Power management/  
File: power.sch**

**Title: BikeNoTheft**

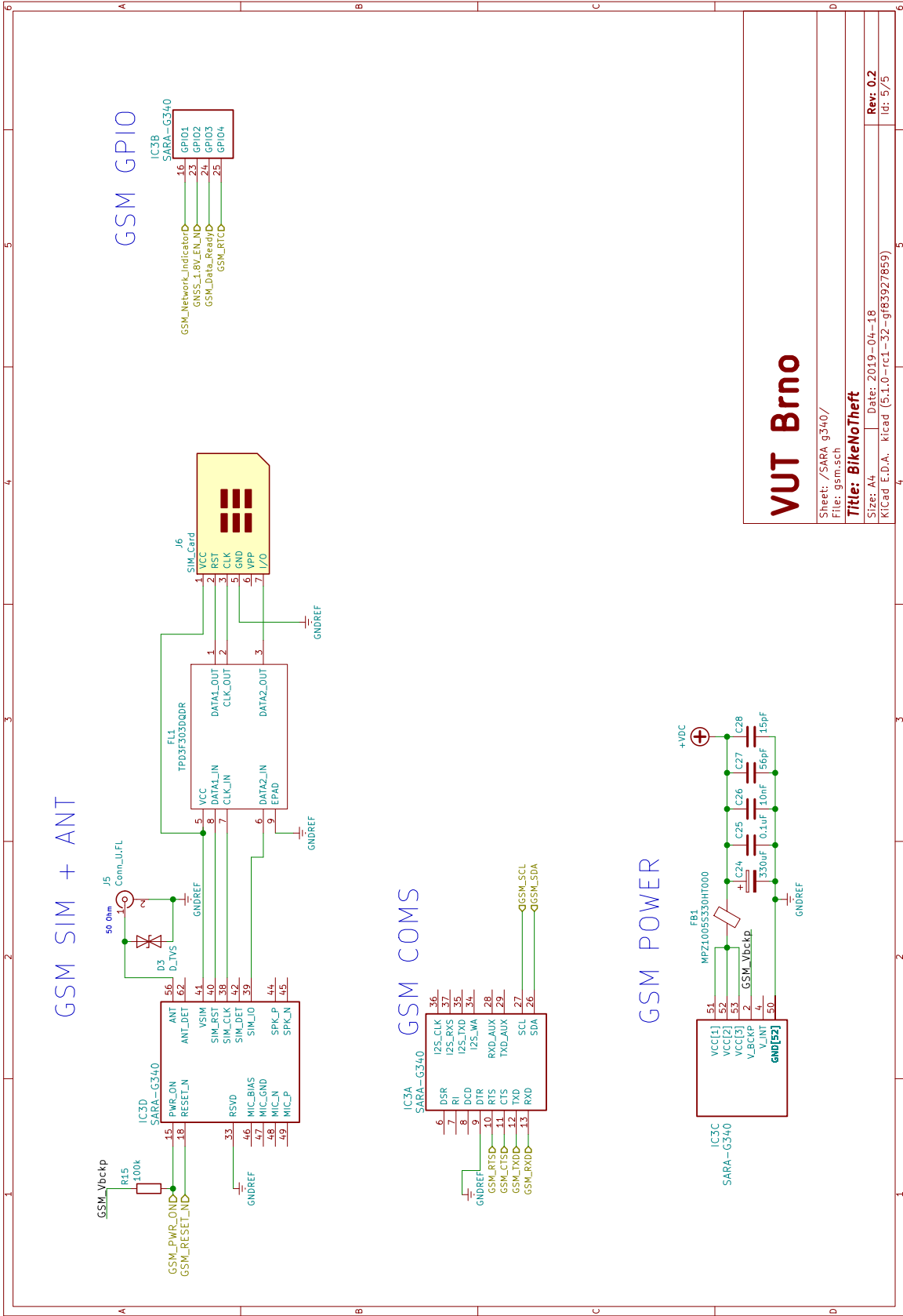
**Size: A4** **Date: 2019-04-18** **Rev: 0.2**

**KiCad E.D.A. kicad (5:1.0-rc1-32-gf83927859)** **Id: 3/5**

# A.4 Zapojenia GNSS modulu



# A.5 Zapojenie GSM modulu

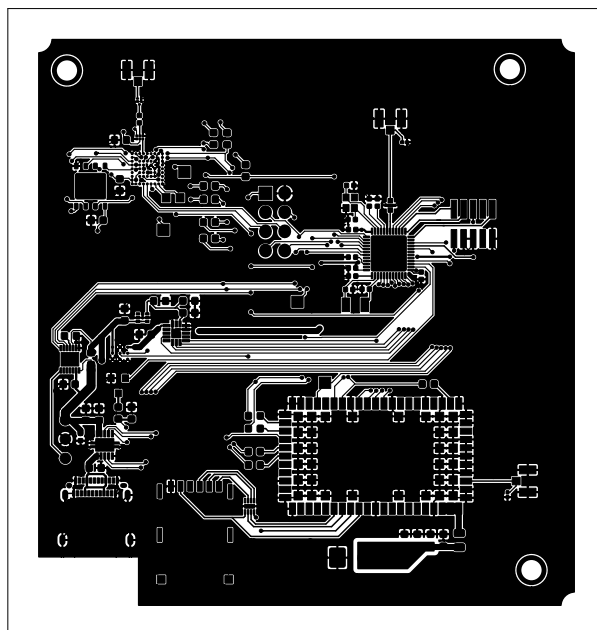


VUT Brno

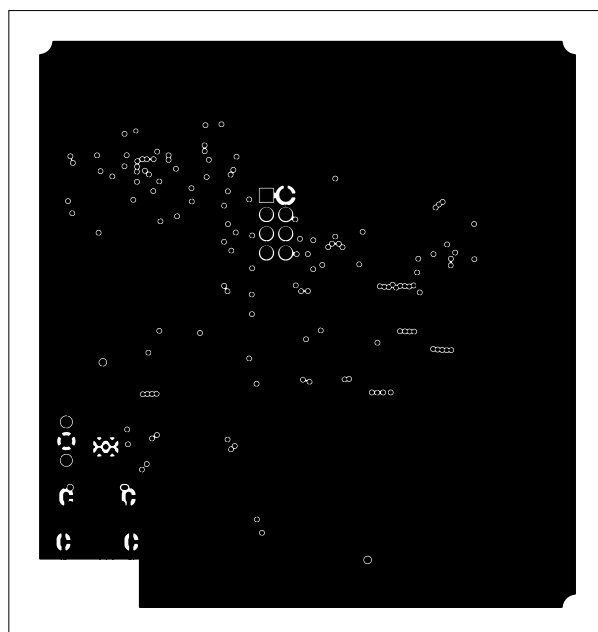
Sheet: /SARA\_g340/  
File: gsm.sch  
**Title: BikeNoTheft**  
Size: A4 Date: 2019-04-18 Rev: 0.2  
KiCad E.D.A. KiCad (5.1.0-rc1-32-gf83927859) Id: 5/5

## B PREPOJOVACIE VRSTVY DPS

### B.1 Vrchná vrstva

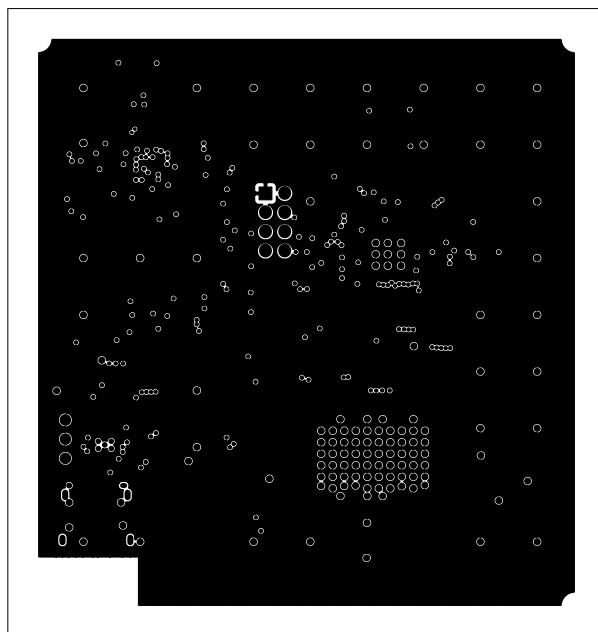


## B.2 Vrchná vnútorná vrstva

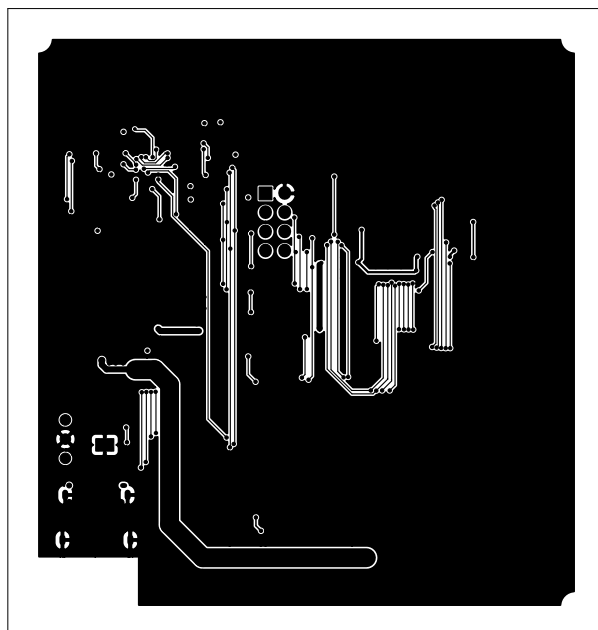




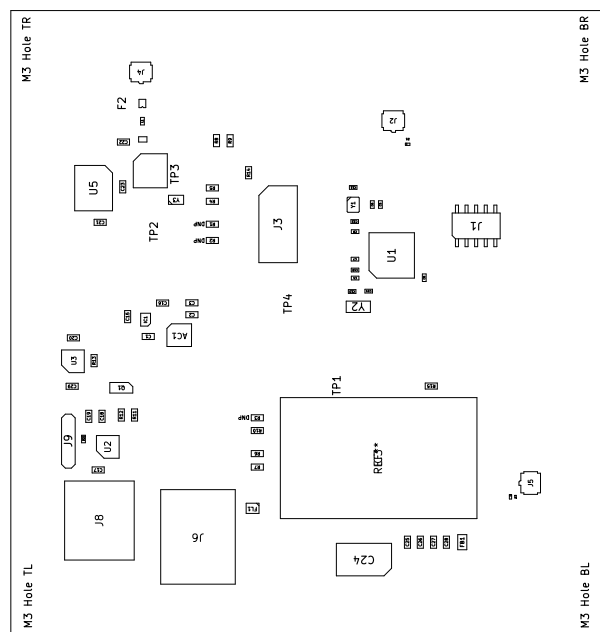
### B.3 Spodná vnútorná vrstva



## B.4 Spodná vrstva



# C OSADZOVACÍ LIST KU DPS



## D KÚSOVNÍK KU DPS

Ks	Výrobca	Produktové číslo výrobcu	Označenie v zapojení
1	Analog Devices	ADXL362BCCZ-R2	AC1
6	AVX	0603YC104KAT2A	C1, C2, C18, C19, C25, C29
5	AVX	0603YC105JAT2A	C3, C15, C16, C22, C23
3	AVX	0402YC104KAT2A	C4, C8, C9
1	AVX	04025A101FAT2A	C6
1	AVX	0402ZD105KAT2A	C7
1	Murata	GRM155R61A475MEAAD	C10
4	AVX	04023A120JAT2A	C11, C12, C13, C14
2	Murata	GRJ188R71C474KE11D	C17, C20
1	Murata	ZRB18AR61E106ME01L	C21
1	KEMET	T520D337M006ATE045	C24
1	AVX	0603YC103JAT2A	C26
1	KEMET	C0603C560J2GACTU	C27
1	Vishay	VJ0603A150GXXCW1BC	C28
2	STMicroelectronics	ESDAXLC18-1BF4	D1, D3
1	Bourns	CG0402MLE-18G	D2
1	Murata	BLM21PG221SN1D	F1
1	RF360 Holdings	B39162B8813P810	F2
1	TDK	MPZ1005S330HT000	FB1
1	Texas Instruments	TPD3F303DQDR	FL1
1	ON Semiconductor	NCP170AXV300T2G	IC1
1	Texas Instruments	TPS82740ASIPT	IC2
1	Samtec	FTSH-105-01-L-DV	J1
3	Hirose	U.FL-R-SMT-1(10)	J2, J4, J5
1	FCI	68602-108HLF	J3
1	Würth Elektronik	693043020611	J6
1	Amphenol	12401610E4#2A	J8
1	Murata	LQW15AN8N2J8ZD	L1
1	ON Semiconductor	2N7002L	Q1
6	Panasonic	ERJ-3GEY0R00V	R1, R2, R3, R6, R7, R10
4	Vishay Dale	RCS06034K70JNEA	R4, R5, R8, R9
2	KOA Speer	RN731JT1D1671B25	R11, R12

## E KÚSOVNÍK KU DPS

1	Ohmite	LVT06R0020HER	R13
2	Vishay Dale	RCS0603100KJNEA	R14,R15
1	Nordic Semiconductor	NRF52832-QFAA-R7	U1
1	Texas Instruments	BQ24012DRCR	U2
1	Maxim Integrated	MAX17260SETD+T	U3
1	u-blox	ZOE-M8G	U4
1	Winbond	W25Q32JWZPIQ	U5
1	Infineon	BGA524N6E6327XTSA1	U6
1	AVX	CX2016DB32000D0WZRC1	Y1
1	Abrakon	ABS07AIG-32.768KHZ-9-1-T	Y2
1	Micro Crystal	CM8V-T1A 32.768KHZ 7PF +/- 20PPM TA QC	Y3